

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

CLEITON DALASTRA

**NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA VAZÃO,
PERIODICIDADE DE EXPOSIÇÃO E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA
SOLUÇÃO NUTRITIVA EM SISTEMA HIDROPÔNICO**



Ilha Solteira
2017

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CLEITON DALASTRA

**NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA VAZÃO,
PERIODICIDADE DE EXPOSIÇÃO E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA
SOLUÇÃO NUTRITIVA EM SISTEMA HIDROPÔNICO**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor e Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho.
Orientador

Prof. Dr. Alcebíades Ribeiro Campos
Co-orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

D136n Dalastra, Cleiton.
Nutrição e produção de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em sistema hidropônico / Cleiton Dalastra. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2017
98 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2017

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Co-orientador: Alcebiades Ribeiro Campos

Inclui bibliografia

1. *Lactuca sativa*. 2. Hidroponia. 3. Técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT).

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Nutrição e produção econômica de alface americana em função da condutividade elétrica, vazão e periodicidade de bombeamento da solução nutritiva

AUTOR: CLEITON DALASTRA

ORIENTADOR: ALCEBIADES RIBEIRO CAMPOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. SALATIER BUZETTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira



Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. PABLO FORLAN VARGAS

Departamento de Agricultura / Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas



Prof. Dr. CLEITON GREDSON SABIN BENETT

Departamento de Agronomia / Universidade Estadual de Goiás

Ilha Solteira, 31 de agosto de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico esse estudo a todos produtores familiares que nos fartam a mesa com suor de duros dias de trabalho. Faço votos que os frutos desse estudo contribuam no dia-a-dia no campo, seja uma ferramenta para amenizar as dificuldades sempre presentes no setor produtivo.

Dedico também ao Prof. Dr. Alcebiades Ribeiro Campos, “Maranhão”, como forma de homenagem aos serviços prestados à instituição e aos acadêmicos que por ele obtiveram conhecimento em entomologia agrícola e grandes lições de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por guiar os meus caminhos e estar sempre presente em minha vida.

Ao Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho por toda orientação, amizade, conhecimento transmitido, empenho, dedicação e companheirismo, além da pronta disponibilidade em todos momentos necessários durante a execução desse estudo.

À minha esposa, Katia Aparecida Nespolti, pelo amor incondicional, incentivo constante, e auxílio nas mais variadas tarefas para a boa execução desse estudo.

Ao Técnico de Laboratório Marcelo Rinaldi e aos acadêmicos Guilherme Carlos Fernandes e Isabela Costa Carrijo pela pronta disponibilidade no processamento laboratorial das amostras.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Sistemas de Produção) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira (UNESP/FESP) pela oportunidade de concessão desse título.

À produtora Vania Meire de Melo pelo incentivo e cedência do local para o experimento, além das incontáveis horas de trocas de experiência na condução hidropônica.

Ao produtor Ézio Carvalho pela amizade, fornecimento de mudas e principalmente por ter sido quem despertou meu interesse pela tão nobre hidroponia.

Ao técnico agrícola Odirlei e o Eng. Agr. Atilio E. Pioli, pelo auxílio durante a condução do experimento em campo.

A todos que de alguma forma contribuíram com este trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Um pouco de ciência nos afasta de Deus.
Muito, nos aproxima”.

(Louis Pasteur)

RESUMO

A produção de alimento face a demanda mundial é um desafio para este século, devendo-se, obrigatoriamente, destinar atenção ao ganho de eficiência produtiva, incorporada as tecnologias disponíveis. Dentre as hortaliças folhosas, a alface se destaca em toda culinária global. A produção atual da alface tem passado por grandes avanços, atribuídos especialmente à técnica de produção hidropônica, contudo, ainda é necessária melhorias na adaptabilidade da tecnologia hidropônica às condições climáticas das diversas regiões e às diferentes necessidades da gama de cultivares presentes no mercado. Neste cenário, a proposição desta pesquisa surge em resposta à demanda de informações pelo setor produtivo, cumprindo seu papel na integração entre ensino, pesquisa e extensão rural, de maneira a contribuir modestamente com o setor produtivo. Para isso, foram realizados três experimentos isolados em sistema hidropônico NFT (Técnica de Fluxo Laminar de Nutrientes), com o objetivo de avaliar a nutrição e a produção econômica de alface americana em função da vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva, respectivamente. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições e cada tratamento foi composto por 15 plantas. No experimento 1, os tratamentos utilizados constaram da aplicação de solução nutritiva nas vazões de 0,5; 1; 2 e 4 litros por minuto em cada canal de cultivo. No experimento 2, os tratamentos foram quatro combinações de intermitência de exposição da solução nutritiva em intervalos de bombeamento / intervalo de ausência de bombeamento em minutos: 15/60; 15/30; 15/15 e FI (Fluxo inintermitente). No experimento 3, os tratamentos foram a manutenção diária da solução nutritiva em quatro valores de condutividade elétrica, de 0,8; 1,3; 1,8 e 2,3 dS m⁻¹, em função da concentração de nutrientes. A maior produção e lucratividade de alface americana foi obtida com a vazão da solução nutritiva de 1 L/min, devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e eficiência de sua utilização; também houve a maior produção e lucratividade de alface americana obtida com fluxo contínuo da solução nutritiva (FI), devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes, maior assimilação de nitrato e eficiência de utilização de nutrientes; economicamente, a condução em intervalo 15/30 minutos acarreta em prejuízo financeiro; o acompanhamento dos tratamentos de condutividade elétrica no decorrer do ciclo da alface aponta para produção superior com condutividade elétrica recomendada por fase de cultivo, sendo: 0,8 dS m⁻¹ até os 10 dias após o transplântio (DAT); 1,30 dS m⁻¹ dos 10 aos 17 DAT; 1,80 dS m⁻¹ dos 17 aos 24 DAT e 1,30 dS m⁻¹ dos 24 aos 31 DAT.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.. Concentração de nutrientes foliar. Diagnose foliar. Lucratividade. Técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT).

ABSTRACT

The food production to meet global demand is a challenge for this century, should be compulsorily intended attention to productive efficiency gains incorporated the available technologies. Among the leafy vegetables, the lettuce stands out in all global cuisine. The current production of lettuce has undergone great advances, especially attributed to the hydroponic production technique. However, it is still necessary to improve the adaptability of hydroponic technology to the climatic conditions of the different regions and to the different needs of the wide range of cultivars present in the market. In this scenario, the proposition of this research arises in response to the demand for information by the productive sector, fulfilling its role in the integration between teaching, research and rural extension, in order to contribute modestly with the productive sector. For that, three experiments were carried out in a NFT hydroponic system, with the objective of evaluating the nutrition and economic production of American lettuce as a function of flow rate, periodicity of exposure and electrical conductivity of the nutrient solution, respectively. The experimental design was in randomized blocks, with five replicates and each treatment consisted of 15 plants. In the experiment 1, the treatments used consisted of the application of nutrient solution at the flow rates of 0.5; 1; 2 and 4 liters per minute in each culture channel. In experiment 2, the treatments were four combinations of intermittent exposure of the nutrient solution at pumping intervals / no pumping interval in minutes: 15/60; 15/30; 15/15 and 15/0. In experiment 3, the treatments were daily maintenance of the nutrient solution in four values of electrical conductivity, of 0.8; 1.3; 1.8 and 2.3 dS m⁻¹, depending on the concentration of nutrients. The conclusions were: The highest production and profitability of American lettuce was obtained with the flow of the nutrient solution of 1 L/min, due to the greater accumulation of nutrients in the aerial part and efficiency of use of these; The highest production and profitability of American lettuce was with cycles of 15/0 minutes, that is, with continuous flow of the nutrient solution due to the greater accumulation of nutrients in the aerial part and efficiency of use of these; Economically, driving in interval 15/30 minutes under the conditions studied, does not supply the cost of production and entails financial loss; The treatments were monitored during the lettuce cycle, indicating a higher yield than the one obtained with the recommended electrical conductivity at each cultivation stage: 0.8 dS m⁻¹ until 10 days after transplanting (DAT) of lettuce; 1.30 dS m⁻¹ from 10 to 17 DAT; 1.80 dS m⁻¹ from 17 to 24 DAT and 1.30 dS m⁻¹ from 24 to 31 DAT.

Keywords: *Lactuca sativa* L.. Foliar nutrients concentration. Foliar diagnosis. Profitability. Nutrient film technique (NFT).

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO

- Figura 1** - Produção de alimentos hidropônicos pelas forças armadas norte-americanas em 1947 no Japão 22

CAPITULO 2 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

- Figura 1** - Temperatura e umidade relativa do ar durante a execução do teste..... 34
Figura 2 - Esquema da bancada de condução dos testes..... 35
Figura 3 - Condutividade observada e volume de reposição de nutrientes na cultura de alface hidropônico sob diferentes vazões..... 36
Figura 4 - Massa fresca e seca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes vazões de solução nutritiva..... 38
Figura 5 - Sistema radicular de alface impactado pela baixa oxigenação e sistema radicular que obteve adequado suprimento de oxigênio..... 39
Figura 6 - Eficiência de utilização de nutrientes da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes vazões de solução nutritiva..... 43

CAPITULO 3 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA PERIODICIDADE DE EXPOSIÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA

- Figura 1** - Temperatura e umidade relativa do ar durante a execução do teste..... 52
Figura 2 - Esquema da bancada de condução dos testes..... 53
Figura 3 - Condutividade observada e volume de reposição de nutrientes na cultura de alface hidropônico sob diferentes períodos de exposição..... 54
Figura 4 - Massa fresca e seca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes períodos (em minutos) de exposição da solução nutritiva..... 56
Figura 5 - Sistema radicular de alface impactado pela baixa oxigenação e sistema radicular que obteve adequado suprimento de oxigênio..... 57
Figura 6 - Eficiência de utilização de nutrientes da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes períodos de exposição da solução nutritiva..... 62

CAPITULO 4 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

- Figura 1** - Temperatura e umidade relativa do ar durante a execução do teste..... 70
Figura 2 - Esquema da bancada de condução dos testes..... 71
Figura 3 - Condutividade observada e volume de reposição de nutrientes na cultura de alface hidropônico sob diferentes condutividades elétrica da solução nutritiva..... 72
Figura 4 - Massa fresca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva..... 74
Figura 5 - Teor de água nos tecidos de parte aérea de alface americana sob exposição a solução nutritiva com diferentes valores de condutividade elétrica..... 75
Figura 6 - Massa seca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob 76

	diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	
Figura 7	- Acúmulo de nitrogênio nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	80
Figura 8	- Acúmulo de magnésio nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	80
Figura 9	- Acúmulo de enxofre nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	81
Figura 10	- Acúmulo de boro nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	81
Figura 11	Acúmulo de cobre nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	82
Figura 12	Acúmulo de manganês nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	82
Figura 13	Acúmulo de zinco nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	83
Figura 14	Acúmulo de fósforo nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	85
Figura 15	Acúmulo de potássio nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	85
Figura 16	Acúmulo de ferro nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	86
Figura 17	Acúmulo de cálcio nos tecidos de parte aérea e raízes sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	87
Figura 18	Desenvolvimento de alface americana ao 10, 17 e 24 DAT, sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	88
Figura 19	Eficiência de utilização de macronutrientes primários (nitrogênio, fósforo e potássio) pela cultura da alface americana sob diferentes condutividades elétricas em soluções nutritivas.....	89
Figura 20	Eficiência de utilização de macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre) pela cultura da alface americana sob diferentes condutividades elétricas em soluções nutritivas.....	89
Figura 21	Eficiência de utilização de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) pela cultura da alface americana sob diferentes condutividades elétricas em soluções nutritivas.....	90
Figura 22	Concentração de macronutrientes primários (fósforo e potássio) no tanque de armazenamento de solução nutritiva sob diferentes condutividades elétricas na condução da cultura da alface americana....	91
Figura 23	Concentração de macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e Enxofre) no tanque de armazenamento de solução nutritiva sob diferentes condutividades elétricas na condução da cultura da alface americana.....	92
Figura 24	Concentração de micronutrientes catiônicos (cobre, ferro, manganês e zinco) no tanque de armazenamento de solução nutritiva sob diferentes condutividades elétricas na condução da cultura da alface americana....	93

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 2 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Tabela 1	- Interpretação dos teores de nutrientes na folha diagnose da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes vazões de solução nutritiva.....	41
Tabela 2	- Teores e acúmulos de nutrientes na parte aérea e sistema radicular de alface americana sob sistema hidropônico com diferentes vazões de solução nutritiva.....	42
Tabela 3	- Custo de produção, receita bruta e receita líquida por planta de alface hidropônica sob diferentes vazões de solução nutritiva.....	45

CAPITULO 3 – NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA PERIODICIDADE DE EXPOSIÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA

Tabela 1	- Interpretação dos teores de nutrientes na folha diagnose da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes períodos de exposição à solução nutritiva.....	59
Tabela 2	- Teores e acúmulos de nutrientes na parte aérea e sistema radicular de alface americana sob sistema hidropônico com diferentes períodos de exposição à solução nutritiva.....	60
Tabela 3	- Custo de produção, receita bruta e receita líquida por planta de alface hidropônica sob diferentes períodos de exposição da solução nutritiva.....	63

CAPITULO 4 – NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Tabela 1	- Interpretação dos teores de nutrientes na folha diagnose da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	78
Tabela 2	- Custo de produção, receita bruta e receita líquida por planta de alface hidropônica sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva.....	95

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DAT	Dias após o transplante
dS m ⁻¹	Decisiemens por metro
Unesp	Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	14
1	CAPITULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
1.1	ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DA ALFACE.....	15
1.2	EXIGÊNCIA TÉRMICA E DE RADIAÇÃO DA ALFACE.....	16
1.3	EXIGÊNCIA HÍDRICA DA ALFACE.....	17
1.4	NUTRIÇÃO MINERAL DA ALFACE.....	17
1.5	HIDROPONIA.....	21
1.6	1.1 TÉCNICA DO FLUXO LAMINAR DE NUTRIENTE (NFT).....	22
	REFERÊNCIAS.....	25
2	CAPITULO 2 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	31
	RESUMO.....	31
	ABSTRACT.....	32
2.1	INTRODUÇÃO.....	33
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
2.4	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
3	CAPITULO 3 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA PERIODICIDADE DE EXPOSIÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	49
	RESUMO.....	50
	ABSTRACT.....	49
3.1	INTRODUÇÃO.....	51
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	52
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.4	CONCLUSÕES.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65

4	CAPITULO 4 – NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA	67
	RESUMO.....	67
	ABSTRACT.....	68
4.1	INTRODUÇÃO.....	69
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.4	CONCLUSÕES.....	96
	REFERÊNCIAS.....	97

INTRODUÇÃO GERAL

No ritmo de crescimento mundial, provavelmente teremos 9 bilhões de habitantes no planeta em 2050, pelas estimativas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura FAO. Assim, o grande desafio atual é a otimização e eficiência dos sistemas produtivos de alimentos. O impacto da agressão aos ecossistemas nativos, visto como alternativa primária para o crescimento da oferta de alimentos não é tolerável em épocas com elevadas conquistas tecnológicas (FAO, 2017).

Por outro lado, ainda segundo a FAO (2017), a cada 5 minutos uma criança morre por desnutrição. Portanto, melhorias na eficiência produtiva, de transporte e armazenamento de alimentos deve pautar todos os esforços possíveis para reversão, ou no mínimo atenuação deste triste quadro mundial.

Ainda em 2013, o relatório intitulado “Global Food Waste Not, Want Not” elaborado pelo Institution of Mechanical Engineers, estimava a produção mundial de alimentos na ordem de 4 bilhões de toneladas a cada ano, porém, apenas de 35 a 50% deste montante de fato alcançava o nobre objetivo de nutrir vidas humanas, dada a ineficácia de transporte, armazenamento e durabilidade no pós-colheita ou pós processamento (Institution of Mechanical Engineers - IME, 2017).

A produção mundial de alface participa com 45 milhões de toneladas a cada ano, liderando também as perdas pós-colheita. Com grande parte cultivada ao solo, a perecibilidade da cultura atinge valores superiores à 50% durante o processo de logística e comercialização.

No atual cenário, a produção hidropônica de alface tem permitido ganhos de produtividade com praticidade, versatilidade e principalmente grande melhoria na estabilidade pós-colheita, uma vez que a planta não é separada do sistema radicular como em cultivo ao solo, e consegue-se manter a planta por um período cinco a dez vezes maior comparado ao tradicional.

Essa ferramenta produtiva tem apresentado as premissas necessárias para superação do desafio proposto pelo crescimento populacional das próximas décadas, contudo, se faz necessário o aprimoramento dessa técnica para garantir, com sucesso, o percurso do tão almejado objetivo.

As hipóteses desta pesquisa são que a vazão, periodicidade de exposição e condutividade elétrica da solução nutritiva em cultivo hidropônico, quando ótimas irão proporcionar maior nutrição, crescimento e produção da alface americana, possibilitando maior lucratividade para agricultor e uma hortaliça com melhor qualidade nutricional.

CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO

1.2 ASPECTOS GERAIS SOBRE A CULTURA DA ALFACE

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta com característica herbácea, de ciclo anual e hermafrodita. Seus caules diminutos e não ramificados oferecem fixação à folhas de grande porte, podendo essas apresentar ou não rugosidades. A inserção radial de folhas pode ou não apresentar entrelaçamentos, ocasionando a formação de uma estrutura conhecida popularmente com “cabeça”. Quando presente essa estrutura é compacta, com folhas imbricadas e nervuras salientes. Sua coloração varia de verde amarelado ao verde escuro, podendo algumas apresentar margens arroxeadas. Suas raízes são do tipo pivotante com extrema ramificação, o que permite a exploração intensa na proximidade da inserção ao meio de cultivo (FILGUEIRA, 2008).

O consumo e cultivo da alface por humanos datam desde 500 anos a.C. Essa hortaliça originária do Leste do Mediterrâneo foi muito popular na Roma antiga na época do Imperador Domitien e posteriormente dispersa em toda Europa (DAVIS et al., 1997), dada sua versatilidade de produção e consumo na alimentação ou homeopatia. No continente americano foi introduzida por volta do século XV e desde 1647 é cultivada no Brasil (RYDER; WHITAKER, 1976).

A alface é utilizada na alimentação humana no mundo todo e oferece grande importância em dietas com restrição calórica, uma vez que a porção de 100 gramas não excede a 15 Kcal (BEZERRA et al., 2006). Em contrapartida, possui quantidades consideráveis de minerais e vitaminas A, B1, B2, B6 e C (RIBEIRO, 2016).

No Brasil, a alface é considerada a hortaliça folhosa mais comercializada e consumida, dada a sua possibilidade de produção durante todo o ano, características culinárias e aceitação cultural (ABCSEM, 2017). Essa hortaliça, no ano de 2016, sob comercialização em atacado gerou um montante superior 288 milhões de reais com produção de 105.207 toneladas (CONAB, 2017), e estima-se que no varejo tenha atingido 8 bilhões de reais, com uma produção superior a 1,5 milhão de toneladas (ABCSEM, 2017).

O cultivo dessa hortaliça tradicionalmente é feito no solo, contudo, isso consome 48% de seu custo de produção associado à mão de obra (ABCSEM, 2017), o que abre espaço progressivamente ao cultivo hidropônico, que apresenta, pela sua característica, substancial redução nesse custo e maior valor agregado. Somente no estado de SP, a produção

hidropônica atual corresponde a 5% do total comercializado, porém a um valor de mercado 280% superior ao convencional (CONAB, 2017).

Apesar da grande aceitação do mercado consumidor nacional, atenção especial deve ser destinada a essa cultura, por ser uma planta originária de clima ameno, quando cultivado sob alta temperatura e luminosidade, seu ciclo vegetativo tende a ser antecipado, tornando precoce a fase reprodutiva, em detrimento da produtividade e qualidade do produto, o que ocasiona acúmulo excessivo de látex e, conseqüentemente, torna as folhas amargas, rígidas e de tamanho e número reduzidos (SILVA, 1995).

A produtividade e qualidade de fitomassa produzida também está ligada ao adequada atendimento fisiológico da cultura. Os fatores limitantes ou deficientes muitas vezes podem ser a água, a temperatura e luz solar ou até mesmo os níveis de CO₂, contudo, frequentemente são expressados por déficit na nutrição mineral (LIBUY, 2007).

1.3 EXIGÊNCIA TÉRMICA E DE RADIAÇÃO DA ALFACE

A temperatura do ar na cultura da alface influencia grande parte dos processos fisiológicos, desde a germinação, crescimento, floração, frutificação, e os processos de fotossíntese, respiração, transpiração, absorção de água e de nutrientes, determinando precocidade ou retardo ao ciclo da cultura (LUCCHESI, 1987).

A temperatura ideal para o desenvolvimento da cultura está entre 15 e 20 °C (REISSER JR., 1991). A temperatura base para as cultivares do tipo americanas gira entorno de 10 °C, e o acúmulo térmico exigido entre 380 a 450 graus-dias, para atingir o ponto de colheita em ambiente protegido (ARAÚJO et al., 2010).

Com temperaturas superiores a 30 °C, a alface antecipa a emissão da haste floral e promove acúmulo de látex excessivo, depreciando o valor do produto (DELISTOIANOV, 1997). Outro ponto a se considerar é o efeito das altas temperaturas do ar e a radiação sobre os canais de cultivo, contribuindo facilmente para elevação da temperatura da solução nutritiva a valores superiores a 40 °C, considerados limitantes à atividade das raízes (JEANNEQUIN, 1987)

A radiação de onda curta influencia o crescimento da planta em dois aspectos: a radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700 nm) é necessária para fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004), enquanto que a radiação global altera a transpiração (CUNHA et al., 2001). Valores abaixo de 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹ são considerados como limitantes para o crescimento das hortaliças de verão (FAO, 1990), contudo, a alface apresenta baixo ponto de saturação

lumínica, correspondendo a $800 \mu\text{mol S}^{-1} \text{m}^{-2}$, o que permite que a cultura realize fotossíntese mesmo em condições de baixa luminosidade (SANCHES et al., 1989)

1.4 EXIGÊNCIA HÍDRICA DA ALFACE

A alface é uma hortaliça que apresenta grande exigência em água. Seu adequado suprimento e os turnos de fornecimento são de essencial importância em sua produtividade (DANTAS, 1997). Quando irrigada, a alface demanda 75% da evapotranspiração de referência (ANDRADE JÚNIOR; KLAR, 1997), uma vez que utiliza a evapotranspiração como efeito de proteção ao superaquecimento, advindo da grande interceptação foliar frente à radiação solar.

Quando o fluxo da evapotranspiração supera a absorção de água pelas raízes e o potencial hídrico da planta, ocorre o fechamento de estômatos, e assim se dá a perda de água, e juntamente as trocas gasosas, impactando diretamente na taxa fotossintética realizada (ANDRIOLO, 1999). O efeito da deficiência hídrica sobre o vegetal é muito variado e depende, principalmente, da intensidade do estresse a que a planta está submetida.

Embora a redução na taxa de perda de água possa representar uma medida imediata para prevenir a desidratação dos tecidos, ela pode afetar diretamente o balanço de calor sensível da planta e a absorção de CO_2 e indiretamente a taxa fotossintética (BRUNINI; CARDOSO, 1998).

Os principais efeitos ocasionados na cultura pelo estresse hídrico relacionam-se a redução no desenvolvimento celular, redução da expansão das folhas, no fechamento estomático, redução na translocação de assimilados e aceleração da senescência e da abscisão das folhas (McCREE; FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ; ZEIGER, 2004)

A água é essencial para a manutenção da turgescência, expansão e à divisão celular (PÁEZ et al., 1995). A importância do turgor celular está diretamente relacionada aos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese. Uma vez iniciado o primórdio foliar, o tamanho final atingido é determinado pelo índice de duração da divisão e expansão celular (PETRY, 1991).

1.5 NUTRIÇÃO MINERAL DA ALFACE

O estado nutricional da cultura pode ser eficientemente analisado em função dos teores de nutrientes nas folhas. Nesta estrutura ocorrem os principais processos metabólicos da

planta, portanto, é o órgão que melhor representa seu estado nutricional. O uso da diagnose foliar apresenta-se como uma importante ferramenta para a cultura da alface, pois baseia-se nas premissas de que existem, dentro de limites, relações diretas entre teor foliar de nutrientes e produção (FAQUIN, 2002).

A produção ótima da cultura é pautada em sua maior parte na adequada nutrição da planta, que por sua vez atende a uma ordem de elementos essenciais quantitativamente decrescentes, obedecendo à seguinte ordem, na alface: K>N>Ca>P>Mg>S>Fe>Zn>Mn>B>Cu (FAQUIN et al., 1996).

O potássio é o elemento mais exigido pela cultura, e exerce nas plantas uma série de funções relacionadas com o armazenamento energético, participa na síntese de proteínas, carboidratos e lipídeos e, também, no metabolismo da clorofila e de outras enzimas. Também é necessário para a divisão celular, funcionalidade estomática e ativação enzimática, tais como sintetases, oxirredutases, desidrogenases, transferases e quinases (FAQUIN, 1994). Sua deficiência acarreta em redução de produtividade, com acúmulo de carboidratos, compostos nitrogenados solúveis, além da diminuição no teor de amido e na atividade de diversas enzimas (MARSCHNER, 1997), e é caracterizada pela queima das bordas foliares e folhas com coloração escura. Em caso de excesso, também ocorre prejuízos em produtividade devido à competição desse nutriente com os íons cálcio e magnésio pelos sítios de absorção, desbalanço nutricional e dificuldade de absorção de água pela planta (WEIR; CRESSWELL, 1993; MARSCHNER, 1997).

O nitrogênio é o segundo nutriente exigido em maior quantidade pela cultura, e em situação de deficiência ocorre redução acentuada de produtividade (MALAVOLTA, 1980; WEIR; CRESSWELL, 1993). Sua atuação está principalmente em funções fisiológicas, estruturais e de osmorregulação. Também se apresenta na planta como componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas, sendo precursores de hormônios vegetais (AIA e etileno), clorofilas e citocromos (FAQUIN, 1994). O nitrogênio estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, assim como a vegetação. Participa ainda da absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular (MALAVOLTA et al., 1997). Esse elemento é extremamente móvel, deslocado das folhas velhas para as jovens (WEIR; CRESSWELL, 1993). Após sua absorção, o nitrato pode ser reduzido nas raízes ou translocado para a parte aérea, onde atua como osmorregulador, mantendo o equilíbrio eletroquímico celular pelo acúmulo no vacúolo. O nitrato é reduzido a amônio pela atividade da enzima nitrato redutase e nitrito redutase em reações localizadas, respectivamente, no citoplasma e no cloroplasto (REDINBAUGH; CAMPBELL, 1991).

Em condição de deficiência de N, a planta apresenta clorose nas folhas mais velhas e detrimento da redistribuição, além de redução no crescimento (FAQUIN, 1994), enquanto em condições de excesso, acarreta estiolamento da planta e consequente reutilização no período de pós-colheita (WEIR; CRESSWELL, 1993). Em altos níveis de fornecimento deste elemento, pode ocorrer elevado acúmulo de nitrato, podendo causar problemas na alimentação em seres humanos, tais como a metahemoglobinemia (CHANG; YAN; RISKOWSKI, 2013).

O cálcio é o terceiro elemento na ordem de exigência da alface. Sua principal função na planta é manter a integridade da parede celular (MALAVOLTA, 1980). Sua indisponibilidade ocasiona distúrbios localizados, dado sua incapacidade de redistribuição após a deposição (COLLIER; HUNTINGTON, 1983). A característica de sua deficiência é indicada pelo surgimento de necrose, principalmente nas extremidades das folhas em desenvolvimento (COLLIER; TIBBITTS, 1982), chamada de “tip burn” em folhas jovens. Em partes da planta com baixa taxa de transpiração tem-se notado deficiência deste elemento mesmo quando suas concentrações estão adequadas na solução nutritiva ou solo, dado ao baixo fluxo da seiva responsável pelo transporte desse elemento (COLLIER; HUNTINGTON, 1983).

O fósforo é o quarto elemento mais exigido pela alface. Dentre suas funções destaca-se a estrutural e participação nos processos metabólicos importantes, tais como, transferência e armazenamento de energia, podendo afetar vários outros como a síntese de proteínas e de ácido nucléico (MALAVOLTA, 2006). No interior da planta o fósforo possui mobilidade com grande concentração no floema, acumulando-se nas sementes (PRADO, 2008). Sua deficiência na planta de alface é, normalmente, observada pela coloração com tonalidades avermelhadas a púrpuras ou verde-opacas nas folhas velhas, e ainda, redução no crescimento e má formação da cabeça (KATAYAMA, 1993).

O magnésio, macronutriente secundário, surge na quinta posição na marcha de absorção da alface. Constituinte da molécula de clorofila, desempenha um papel significativo na fotossíntese, ativação enzimática, absorção iônica, transporte de energia, balanço eletrolítico e estabilidade aos ribossomos (MALAVOLTA et al., 1997). Esse elemento possui mobilidade na planta, e em situação de deficiência apresenta clorose internerval das folhas com a nervura permanecendo verde (RAIJ, 1991).

O enxofre, sexto e último macronutriente na marcha de absorção da alface, desempenha algumas funções essenciais para as plantas, como a formação dos aminoácidos sulfurados e a participação nos processos metabólicos da fotossíntese, por estar em coenzimas como a ferridoxina (MALAVOLTA et al., 1997). Em condições de deficiência, a planta

apresenta clorose semelhante ao nitrogênio, porém nas folhas novas, dado a incapacidade de translocação desse nutriente (RAIJ, 1991).

O ferro surge na sétima posição, e sua essencial função nos organismos vegetais esta na constituição de enzimas atuantes no transporte de elétrons, como citocromos e ferro-proteínas não envolvidas na fotossíntese, fixação de nitrogênio e respiração (EVANS; SORGER, 1966). O ferro também está envolvido em reações de oxiredução junto a outros micronutrientes metálicos, como zinco, cobre, níquel e molibdênio (TAIZ; ZEIGER, 2004). É também considerado de grande importância para o balanço hormonal da planta (MALAVOLTA, 2006). Quando ausente ou em quantidades insuficientes, a planta apresenta clorose internerval nas folhas, redução no crescimento apical (LARCHER, 1995) e senescência de folhas (SPEROTTO et al., 2007).

O oitavo elemento é o zinco, essencial à estrutura de diversas desidrogenases, proteinases e peptidases (WELCH; NORVELL, 1993), além de ser indispensável para síntese de auxinas. Este nutriente tem como função principal ser componente e ativador enzimático, estando diretamente envolvido no metabolismo do nitrogênio (FAQUIN, 1994). O zinco é importante para o crescimento (GREWAL et al., 1997) e para manutenção da integridade da membrana plasmática da raiz (CAKMAK; MARSCHNER, 1988). Esse elemento é classificado como parcialmente móvel na planta (PEASLEE et al., 1981), e geralmente está associado aos complexos de baixo peso molecular, íons livres e formas insolúveis na parede celular, podendo tornar-se inativo dentro da célula pela complexação com o fósforo (WELCH; NORVELL, 1993). Em condição de deficiência a alface apresenta sintomas de clorose internerval em folhas novas.

O manganês, nono elemento na marcha de absorção, possui sua função mais importante relacionada com os processos de oxiredução. Destaca-se principalmente a participação na fotossíntese durante a clivagem da molécula de água e evolução do O₂ na fase luminosa, de maneira que se tem a transferência de elétrons para o fotossistema II (CHENIAE; MARTIN, 1968). Esse elemento também participa como componente proteico da manganina, além de acelerar o processo germinativo da semente e atenuar os efeitos do déficit hídrico moderado. Em casos de deficiência, a planta apresenta clorose internerval das folhas que evolui para manchas necróticas, reduzindo o crescimento especialmente de raízes.

O penúltimo elemento na marcha de absorção é o boro, com papel fundamental no metabolismo de carboidratos e transporte de açúcares através das membranas, síntese de ácidos nucleicos e de fito-hormônios, formação de paredes celulares e divisão celular (PILBEAM; KIRKBY, 1983). A deficiência desse elemento promove retorcção nas folhas da

alface, coma aparente formação de manchas claras. Ocorre também paralização de crescimento apical, deixando a planta com aspecto de roseta.

O último elemento da marcha de absorção da alface é o cobre, elemento associado a enzimas envolvidas em reação redox, a exemplo a platocianina, a qual contribui no transporte de elétrons durante as reações dependentes de luz da fotossíntese (HAEHNEL, 1984). Em caso de escassez desse elemento, as folhas mais jovens assumem coloração verde escura, atingindo em condição extrema coloração esbranquiçada.

1.6 HIDROPONIA

A palavra hidroponia tem origem no idioma grego: Hidro quer dizer água e Ponos significa trabalho. Sua origem sugere o cultivo extra solo, tendo sido aceito como precursor os famosos jardins suspensos da babilônia, descrito em textos bíblicos no início da era cristã.

Os registros científicos sobre cultivo hidropônico datam ainda do século XVI por Jan Van Helmont, contudo, somente no século XIV, Ferdinand Gustav Julius von Sachs, então Docente da Universidade de Würzburg, conduziu estudos adicionais que tornaram possível o desenvolvimento de um tipo de cultura sem solo em ambiente de laboratório, tornado essa técnica bastante aceita para ensaios sobre fisiologia e nutrição de plantas (DOUGLAS, 1991), permitindo os pioneiros estudos sobre soluções nutritivas, tais como Tollens (1882), Totttingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919) Trelease (1933), mantendo-se nesse âmbito até início do século XX citado por Resh (2002).

Em pleno cenário da segunda guerra mundial, Willian F. Gericke, docente da Universidade da Califórnia, introduziu a técnica em ambiente de produção cultivando tomateiros, o que permitiu posteriormente a utilização dessa versátil tecnologia em locais remotos, em bases militares pelo exército norte-americano, garantindo a alimentação das tropas com hortaliças (Figura 1) (DOUGLAS, 1991).

Figura 1 - Produção de alimentos hidropônicos pelas forças armadas norte-americanas em 1947 no Japão



Fonte: U.S.Army, (2017)

Apesar da difusão da técnica hidropônica, pela sua eficácia e versatilidade, o conhecimento sobre nutrição balanceada e o alto custo de fertilizantes com pureza garantida limitavam o desenvolvimento da tecnologia, momento em que surgiram as publicações sobre soluções nutritivas de Hoagland e Arnon (1938) citado por Resh (2002), tidas como as precursoras das centenas de fórmulas hoje encontradas no meio produtivo que mantem grande correlação com a antiga solução nutritiva conhecida atualmente por solução de Hoagland (RESH, 2002).

A hidroponia associada a plasticultura tem garantido produções de alimentos em locais com invernos rigorosos como na Europa e Ásia ou regiões áridas como no deserto do Saara e na região da Península Arábica. Regiões como Ilhas Canarias tem, pelo uso dessa técnica, a possibilidade de equilíbrio de sua balança comercial, exportando alimentos hidropônicos, da mesma maneira que a África utiliza essa ferramenta, mesmo que ainda insipiente, em pról do déficit alimentar ocorrente em seu território (STERTZ, 2004).

1.7 TÉCNICA DO FLUXO LAMINAR DE NUTRIENTE (NFT)

O sistema hidropônico Nutrient Film Technique - NFT (Técnica do Fluxo Laminar de Nutriente), conceito atribuído a Allen Cooper, detalhado em sua publicação em 1965, caracteriza-se pela aplicação e circulação de lâminas de soluções nutritivas nos canais de cultivo entre as raízes das plantas, com frequência e turnos previamente programados (COOPER, 1996). É composto de um reservatório de solução nutritiva, de um sistema de bombeamento e de retorno da solução nutritiva ao reservatório por meio de tubos e de

bancadas com canais de cultivo (SANTOS, 2000; HELBEL JÚNIOR, 2004). Nesse sistema, as plantas são conduzidas em bancadas e o sistema radicular permanece parcialmente imerso no fluxo de uma solução nutritiva, o qual não deve inundá-lo por completo: aproximadamente 2/3 das raízes devem estar submersas para absorver água e nutrientes e 1/3 não submersa, absorvendo oxigênio (STAFF, 1998).

O sistema hidráulico de um conjunto hidropônico NFT é fechado, ou seja, a solução nutritiva é bombeada de um reservatório, passa pelas raízes das plantas nos canais das bancadas e volta por gravidade ao reservatório (FAQUIN; FURLANI, 1999). Contudo, apenas a solução acumulada no reservatório pode não apresentar concentração de oxigênio (O₂) dissolvido suficiente para que as raízes de espécies não aquáticas, como a alface, respirem adequadamente. Desta forma, a circulação da solução sob regime turbulento assume essencial papel na oxigenação do fluído (CARMELO, 1996).

A técnica de hidroponia exige o fornecimento dos nutrientes de forma adequada e constante, para que se obtenham produtividades satisfatórias. Entretanto, essa ordem e a magnitude de absorção de nutrientes podem ser alteradas por diferentes cultivares e concentrações de nutrientes na solução nutritiva.

A alface é a espécie de maior expressão no sistema de cultivo NFT, possivelmente por ser a hortaliça folhosa de maior aceitação pelos consumidores, apresentar ciclo curto, alta produtividade e rápido retorno do capital investido (SANTOS, 2000; LONDERO; AITA, 2000).

Adicionalmente, no cultivo hidropônico de alface, as plantas geralmente apresentam melhor qualidade e redução acentuada de doenças e pragas, e sua adequabilidade confere produções uniformes, de alta qualidade e produtividade, além do uso eficiente da água e defensivos agrícolas (HELBEL JÚNIOR et al., 2008).

A grande diversidade de cultivares na cultura da alface e clima no ambiente produtivo, demandam um constante ajuste em vários aspectos do sistema NFT, para que dessa forma atenda a maior eficiência produtiva do empreendimento. Um desses aspectos, que assumem fundamental importância é a vazão da solução nutritiva, responsável pela condução de nutrientes, água e oxigênio a cultura, que via de regra não apresenta adaptação aquática (RODRIGUES, 2002).

A vazão ótima da solução nutritiva poderá nutrir melhor as plantas, possibilitando maior e mais rápido crescimento da alface. Entretanto, a vazão também interfere no consumo de energia elétrica do sistema hidropônico, variando, na maioria dos sistemas em uso, entre

1,5 e 2,0 litros por minuto, para obtenção do maior ganho econômico na produção de alface com qualidade nutricional.

Outro fator que merece destaque no sistema NFT é a intermitência de exposição que ocorre em ciclos alternados de bombeamento. Seu propósito é alternar o fluxo de solução nutritiva que transporta água, nutrientes e oxigênio às raízes da planta cultivada, e indiretamente permitir a manutenção da umidade relativa e temperatura em níveis aceitáveis no interior do canal de cultivo (COOPER, 1996).

Excedendo-se o tempo com fluxo da solução nutritiva sem circulação, ocorrerá déficit hídrico, provocando aumento na temperatura das folhas e fechamento dos estômatos, diminuindo assim a fotossíntese. Como consequência, a cultura ajustará a fotossíntese foliar à disponibilidade hídrica, provocando diminuição na produção (TAIZ; ZEIGER, 1998), e consequente dano no sistema radicular pela elevação da temperatura e redução na umidade relativa interna no canal de cultivo (PRADO; CECÍLIO FILHO, 2016).

Em oposição, quando a solução nutritiva permanece circulando por tempo além do necessário, sem propiciar aumento de desempenho, impacta diretamente no consumo de energia elétrica, e consequentemente no custo de produção (LONDERO; AITA, 2000).

Contudo, o aspecto de maior relevância é a condutividade elétrica da solução nutritiva. A absorção da solução pela planta visa o suprimento hídrico e mineral para o desempenho normal de suas atividades fisiológicas. Em ocasião de elevação da concentração salina ocorre a redução do potencial d'água no meio, fazendo com que a planta tenha dificuldade em absorver água suficiente para repor a perda por transpiração nas horas mais quentes do dia (MARSCHNER, 1997; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Por outro lado, reduções drásticas na salinidade da solução nutritiva podem acarretar deficiências nutricionais na planta, pela baixa concentração de nutrientes absorvidos do volume de água do sistema hidropônico (KNIGHT; MITCHELL, 1983).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 2, p. 31-38, 1997.
- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 142 p.
- ARAÚJO, T. S.; FIDELES FILHO, J.; KUMAR, K. K.; RAO, T. V. Crescimento da alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4 p. 25-38, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMERCIO DE SEMENTES E MUDAS – ABCSEM. **Dados do setor**. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dados-do-setor>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- BEZERRA NETO, F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVA, E. O.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CÂMARA, M. J. T.; NUNES, G. H. S. Qualidade nutricional de cenoura e alface cultivadas em Mossoró-RN em função da densidade populacional. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 4, p. 476-480. 2006.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 7, p. 1053-1060, 1998.
- CAKMAK, I.; MARSCHNER, H. Increase in membrane permeability and exudation in roots of zinc deficient plants. **Journal of Plant Physiology**, Muenchen, v. 132, n. 3, p. 356 -361, 1988.
- CARMELLO, Q. A. C. **Cultivo hidropônico de plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1996. 43 p.
- CHENIAE, G. M.; MARTIN, I. F. Sites of manganese function in photosynthesis. **Biochemica Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 153, n. 4, p. 819-837, 1968.
- COLLIER, G. F.; HUNTINGTON, V. C. The relationship between leaf growth, calcium accumulation and distribution, and tipburn development in field-grown butterhead lettuce. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 21, n. 2, p. 123-128, 1983.
- COLLIER, G. F.; TIBBITTS, T. W. Tipburn of lettuce. **Horticultural Reviews**, Hoboken, v. 4, p. 49-65, 1982.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Programa brasileiro de modernização do mercado hortigranjeiro**. Disponível em: <<http://www3.ceasa.gov.br/prohortweb>>. Acesso em: 26 jun. 2017.
- COOPER A. **The ABC of NFT**. Narrabeen: Casper Publications, 1996. 171 p.

CUNHA, A. R.; ESCOBEDO, J. F.; KLOSOWSKI, É. S. Balanço de energia em pimenteiro sob cultivo protegido e a campo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 9, n. 2, p. 159-167, 2001.

DANTAS, R. T. **Parâmetros agrometeorológicos e análise de crescimento de alface (*Lactuca sativa* L.) em ambientes natural e protegido**. 1997. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

DAVIS, R. M.; SUBBARAO, K. V.; RAID, R. N.; KURTZ, E. A. **Compendium of lettuce diseases**. St. Paul: The American Phytopathological Society. 1997. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/apsstore/shopapspress/PageArchive/41868.aspx>>. Acesso em: 9 dez. 2016.

DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono**. 1997. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia**. Rio de Janeiro: Nobel, 1991. 143 p.

EVANS, H. J.; SORGER, G. J. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. **Plant Physiology**, Rockville, v. 17, n. 1, p. 47-76, 1966.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: FAEPE. 1994. 227 p.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, p. 99-104, 1999.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. Disponível em: <http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Diagnose%20do%20Estado%20Nutricional%20das%20Plantas.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2016.

FAQUIN, V.; FURLANI NETO, A. E; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 50 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2008. 402 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **FAO participa de fórum na semana da alimentação**. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/FAOpFSA.asp>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Rome: FAO, 1990. 313 p. (Plant Production and Protection Paper, 90).

GREWAL, H. S.; ZHONGGU, L.; GRANHAN, R. D. Influence of subsoil zinc on dry matter production, seed yield and distribution of zinc in oilseed rape genotypes differing in zinc efficiency. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 192, n. 2, p. 181-189, 1997.

HAEHNEL, W. Photosynthetic electron transport in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, n. 1, p. 659-693, 1984.

HELBEL JÚNIOR, C. **Produção de alface hidropônica em função da composição da solução nutritiva e vazões**. 2004. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

HELBEL JÚNIOR, C.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 1142-1147, 2008.

INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS - IME. **Global food waste not want not**. 2013. Disponível em: <http://www.imeche.org/docs/default-source/news/Global_Food_Waste_Not_Want_Not.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

JEANNEQUIN, B. **Les systèmes de culture hors sol em maraichage**. In: BLANC, D. (Ed.). *Les cultures hors sol*. Paris: INRA, 1987. p. 251-280.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M. E.; CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. V. 1, p. 141-148.

KNIGHT, S. L.; MITCHELL, C. A. Stimulation of lettuce productivity by manipulation of diurnal temperature and light. **HortScience**, Alexandria, v. 18, n. 4, p. 462- 463, 1983.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups**. New York: Springer-Verlag, 1995. 506 p.

LIBUY, W. R. CropKit: Manual Especializado sobre Manejo de Nutrição de Plantas. SQM – **The worldwide business formula** p. 107, 2007. Disponível em: <http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQMCrop_Kit_Tobacco_L-PTG.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2016.

LONDERO, F. A. A; AITA, A. Comercialização de alface hidropônica. In: SANTOS, O. **Hidroponia da Alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. p. 145-152.

LUCCHESI, A. A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P. R. C. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-10.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic, 1997. 889 p.

McCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 353- 360, 1989.

PÁEZ, A.; GONZALEZ, O.; MARÍA, E.; YRAUSQUÍN, X.; SALAZAR, A.; CASANOVA, A. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, n. 4, p. 698- 706, 1995.

PEASLEE, D. E.; ISARANGKURA, R.; LEGGETT, J. E. Accumulation and translocation of zinc by two cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, n. 4, p. 729-732, 1981.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

PILBEAM, D. J.; KIRKBY, E. A. The physiological role of boron in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 6, n. 7, p. 563 – 582, 1983.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. da UNESP, 2008. 408 p.

PRADO, R. M; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: Funep, 2016. 600 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

REDINBAUGH, M. G.; CAMPBELL, W. H. Higher plant responses to environmental nitrate. **Physiology Plantarum**, Copenhagen, v. 82, n. 4, p. 640-650, 1991.

REISSER Jr., C. **Evapotranspiração da alface (*Lactuca sativa* L.) em estufa plástica e ambiente natural**. 1991. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

RESH, H. M. **Hydroponic food production**. 6. ed. Califórnia: Woodbridge Press, 2002. 567 p.

RIBEIRO, H. F. **Uso de imagens digitais na diagnose do teor de nitrogênio foliar em plantas de alface**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/422/1/Horrana%20Ferreira%20Ribeiro%20-%20Disserta%20a7%20a3o.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.

CHANG, A. C.; YANG, T. Y.; RISKOWSKI, G. L. Changes in nitrate and nitrite concentrations over 24h for sweet basil and scallions. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 136,

p. 955-960, 2013.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: Funep, 2002. 762 p.

RYDER, E. J.; WHITAKER, T. N. Lettuce In: SIMMONDS, N. W. **Evolution of crop plants**. New York: Longman Group, 1976.

SANCHES, C. A.; ALLEN, R. J.; SCHAFFER, B. Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions. **Journal of the American Horticultural Science**, Budapest, v. 114, n. 6, p. 844-890, 1989.

SANTOS, R. F.; FURTADO, L. F.; BASSEGIO, D.; SECCO, D.; SOUZA, S. N. M.; FRIGO, E. P. Relação entre as vazões de aplicação de solução nutritiva em cultivo de alface hidropônica. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v 4, p. 204-216, 2011. Disponível em: < https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/592dc687dd518.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.

SANTOS, O. S. Conceito, histórico e vantagens da hidroponia. In: SANTOS, O. **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, p. 5-9, 2000.

SILVA, A. C. F.; REBELO, J. A.; MÜLLER, J. J. V. Produção de sementes de alface em pequena escala. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 41-44, 1995.

SILVA, F. A. M.; VILAS BOAS, R. L.; SILVA, R. B. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 131-137, 2010.

SPEROTTO, R. A.; RICACHENEVSKY, F. K.; FETT, J. P. Iron deficiency in rice shoots: identification of novel induced genes using RDA and possible relation to leaf senescence. **Plant Cell Reports**, Heidelberg, v. 26, n. 8, p. 1399-1411, 2007.

STAFF, H. **Hidroponia**. 2. ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 101 p. Coleção Agroindústria, 11.

STERTZ, S. C. **Qualidade de hortícolas convencionais, orgânicas e hidropônicas da Região Metropolitana de Curitiba, Paraná**. 2004. 286 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: < <http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/27978>>. Acesso em: 25 out. 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER E. **Plant physiology**. Massachusetts: Sinauer, 1998. 792 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

USArmy: US Army Hydroponic Garden Greenhouse Japan Press Photo; 1947. Disponível em:< <https://thumbs.ebaystatic.com/d/1225/m/mh7Yzz5QMvtY9oGik99BXyA.jpg>> Acesso em: 10 mar. 2017.

WEIR, R. G.; CRESSWELL, G. C. **Plant nutrient disorders**. 3. Ed. **Vegetable crops**. Sydney: Inkata Press 1993. 105p

WELCH, R. M.; NORVELL, W. A. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta): studies using an N-(2-Hydroxyethyl ethylenedinitrilotriacetic) acid-buffered nutrient solution technique: II. role of zinc in the uptake and root leakage of mineral nutrients. **Plant Physiology**, Rockville, v. 101, n. 2, p. 627-631, 1993.

CAPITULO 2 - NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

A vazão ótima da solução nutritiva no sistema hidropônico pode nutrir melhor as plantas, possibilitando maior e mais rápido crescimento da alface. Entretanto, a vazão também interfere no consumo de energia elétrica, por isso são necessárias mais pesquisas, principalmente sobre o efeito da taxa de fluxo (vazão), para obtenção do maior ganho econômico na produção de alface com qualidade nutricional. Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa estudar a nutrição e a produção econômica de alface americana em função da vazão da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. Os tratamentos utilizados constaram da aplicação de solução nutritiva nas vazões de 0,5; 1; 2 e 4 litros por minuto em cada canal de cultivo. Cada tratamento possuiu cinco repetições, das quais foram compostas por 15 plantas cada. A vazão em sistemas hidropônicos para produção de alface americana altera positivamente o desempenho técnico e econômico da cultura. A maior produção e lucratividade de alface americana foi obtida com a vazão da solução nutritiva de 1 L min⁻¹, devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e sua eficiência de utilização.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.. Concentração de nutrientes foliar. Diagnose foliar. Lucratividade. Sistema hidropônico NFT.

NUTRITION AND ECONOMIC PRODUCTION OF AMERICAN LETTUCE IN FUNCTION OF THE NUTRIENT SOLUTION FLOW

ABSTRACT

The optimum flow rate of the nutrient solution in the hydroponic system can better nourish the plants, allowing greater and faster growth of the lettuce. However, the flow also interferes with the consumption of electric energy, so further research is needed, mainly on the effect of flow rate, to obtain the highest economic gain in lettuce production with nutritional quality. In view of the above, the objective was to study the nutrition and economic production of American lettuce in function of the nutrient solution flow in NFT hydroponic system. The treatments used consisted of the application of nutrient solution at the flow rates of 0.5; 1; 2 and 4 liters per minute in each culture duct. Each treatment had 5 replicates, of which were composed of 15 plants each. The flow in hydroponic systems to produce American lettuce alters the technical and economic performance of the crop. The highest yield and profitability of American lettuce was obtained with the flow of the nutrient solution of 1 L min⁻¹, due to the greater accumulation of nutrients in the aerial part and efficiency of use of these.

Keywords: *Lactuca sativa* L.. Foliar nutrients concentration. Foliar diagnosis. Profitability. NFT hydroponic system.

2.1 INTRODUÇÃO

O sistema hidropônico Nutrient Film Technique - NFT (Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes) caracteriza-se pela aplicação e circulação de lâminas de soluções nutritivas nos canais de cultivo entre as raízes das plantas, com frequência e turnos previamente programados (COOPER, 1996).

Nesse sistema, as raízes das plantas permanecem parcialmente imersas no fluxo de uma solução nutritiva, o qual não deve inundá-la por completo: aproximadamente 2/3 das raízes devem estar submersas para absorver água e nutrientes e 1/3 não submersa, absorvendo oxigênio (STAFF, 1998).

O sistema hidráulico de um conjunto hidropônico NFT é fechado, ou seja, a solução nutritiva é bombeada de um reservatório, flui através dos canais de cultivos, em contato com as raízes das plantas confinadas e retorna por gravidade ao reservatório (FAQUIN; FURLANI, 1999). Neste trânsito, a solução nutritiva tem por objetivo o transporte de água, nutrientes e oxigênio às raízes da planta cultivada, e indiretamente responsável pela manutenção da umidade e temperatura no interior do canal de cultivo.

Ao percorrer o canal de cultivo, a solução nutritiva tende a aquecer, uma vez que parte da radiação luminosa que incide nos perfis hidropônicos (canais de cultivos) se transforma em calor e termina por ser absorvida pela solução. Desta forma, quanto maior o volume fluindo ou mais rápido o retorno da solução ao reservatório, menor a possibilidade de superaquecimento.

A elevação da temperatura da solução nutritiva acima de 30 °C propicia danos físicos nas raízes e redução drástica no nível de oxigênio (O₂) dissolvido e, conseqüentes perdas do sistema radicular por apodrecimento de espécies não aquáticas, como a alface (RODRIGUES, 2002). Desta forma, a circulação da solução sob regime turbulento assume essencial papel na oxigenação do fluido (CARMELO, 1996).

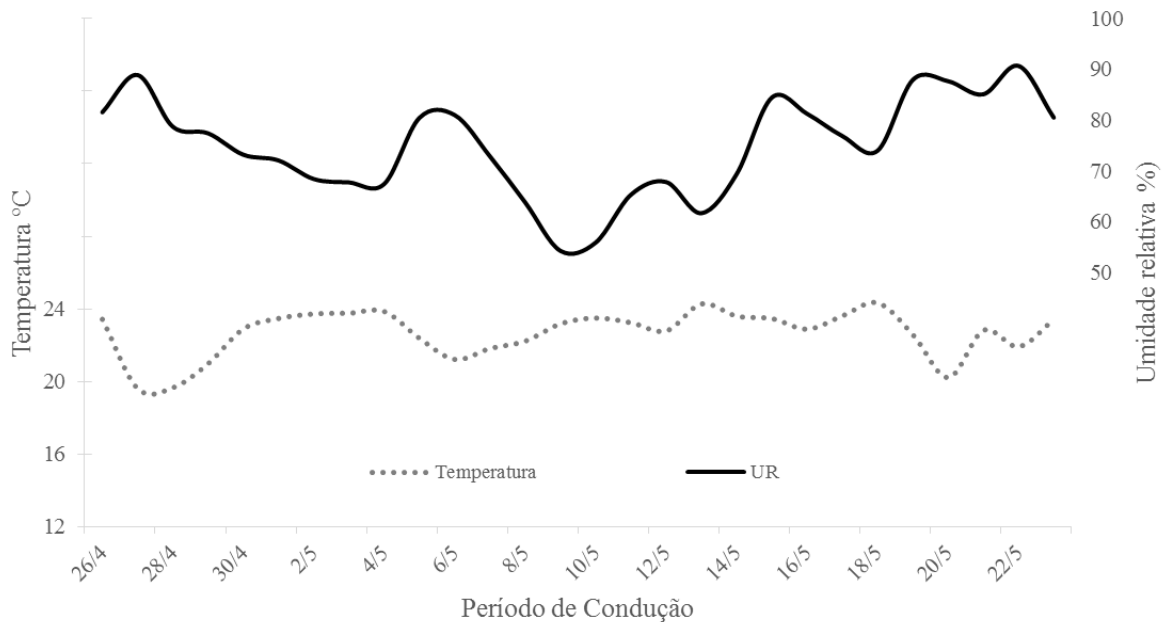
A velocidade e volume da solução corrente nos canais de cultivos estão diretamente ligadas a vazão da solução nutritiva, que em situação ótima poderá nutrir melhor as plantas, possibilitando maior e mais rápido crescimento da alface. Entretanto, a vazão também interfere no consumo de energia elétrica do sistema hidropônico, justificando uma melhor análise dessa variável.

Diante do exposto, objetivou-se estudar, neste capítulo, a nutrição e produção econômica de alface americana em função da vazão da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma instalação comercial coberta com tela vermelha com 25% de sombreamento, no município de Aparecida do Taboado - MS (-20° 3' 58", -51° 10' 54") e desenvolvido entre abril e maio de 2017. O clima no período do experimento apresentou temperaturas que oscilaram de 17 a 24 °C e umidade relativa do ar entre 60 e 93% (Figura 1).

Figura 1 – Temperatura e umidade relativa do ar durante a execução do experimento. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



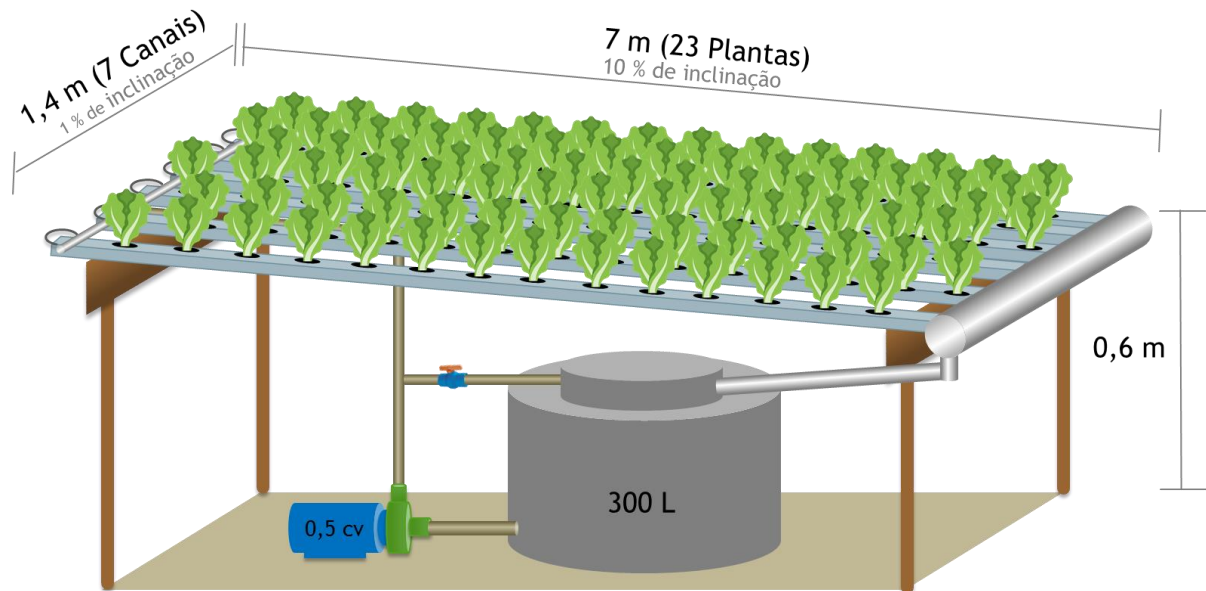
Fonte: Dados do Autor.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram quatro vazões de solução nutritiva, com 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 litros por minuto em cada canal de cultivo. Cada tratamento continha 15 plantas de alface americana.

As unidades experimentais foram instaladas em bancadas individuais, de sete metros de comprimento e declividade de 10%. Os canais de cultivos foram instalados em perfil de PVC com sessão retangular, de 8 centímetros de largura e 4 centímetros de altura, com perfurações superiores para alojamento de uma planta a cada 25 centímetros. Cada bancada contou com 7 canais de cultivos espaçados em 20 centímetros, com sistema de bombeamento

individual, e um reservatório de 310 litros, mantido ao mínimo de 95% de sua capacidade (Figura 2).

Figura 2 – Esquema da bancada de condução do experimento. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

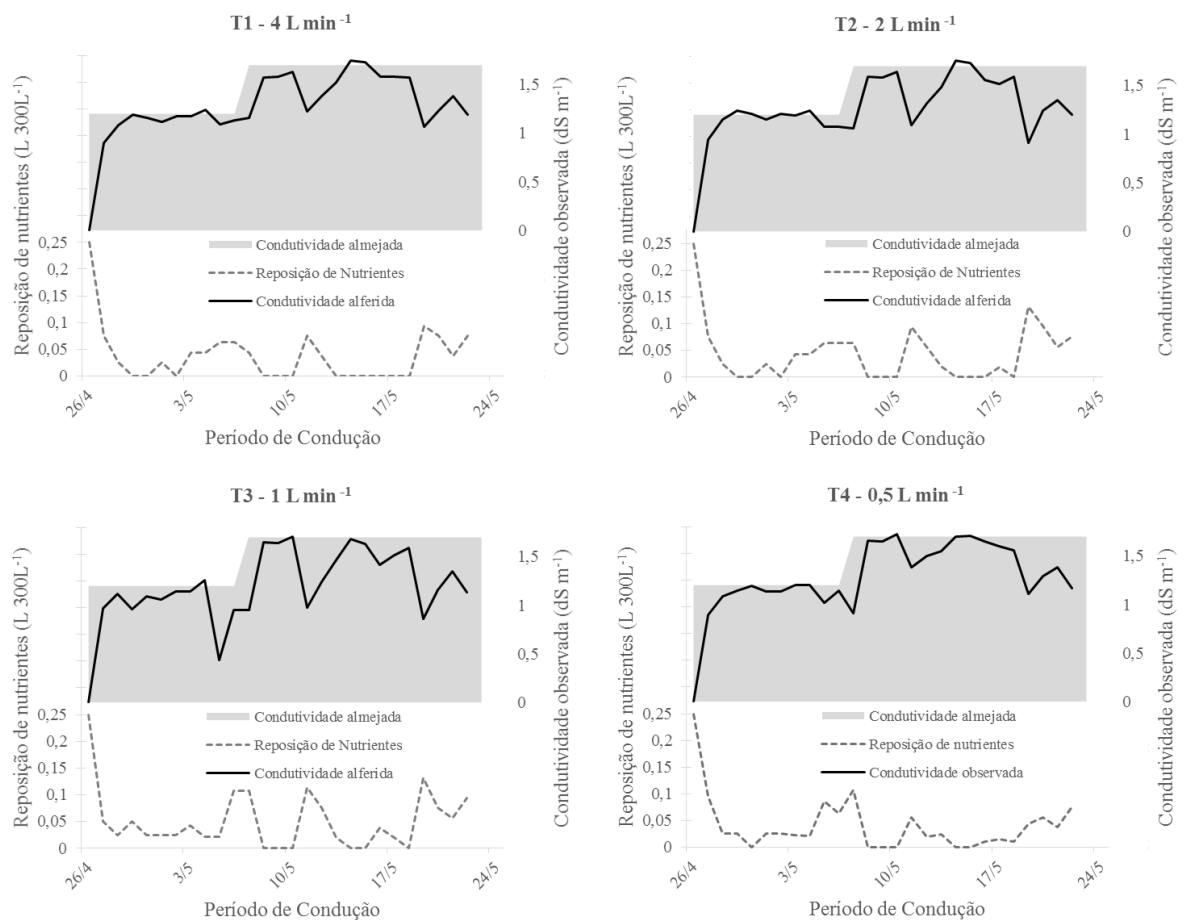
A cultivar de alface utilizada foi a Betty do tipo americana, caracterizada pelo grande porte, alto volume de folhas largas e grossas que conferem boa proteção à cabeça, além de apresentar boa tolerância ao pendoamento precoce. Seu ciclo médio quando cultivado em solo é de 70 dias, porém apresenta precocidade em sistemas hidropônicos e sua população ideal gira em torno de 80 a 160 mil plantas por hectare.

As mudas foram produzidas em espuma fenólica e permaneceram 12 dias em berçário, e após esse período foram transplantadas às bancadas definitivas e permaneceram nesta por 22 dias, até o ponto de colheita.

Para a solução nutritiva manteve-se o bombeamento em circuito fechado, com intermitência de 15 minutos ligada e 30 minutos desligado, durante 24 horas a cada dia. Utilizou-se a solução nutritiva composta pelos fertilizantes concentrados Plenar Ferti PM1[®] e Plenar Ferti PM2[®] (com densidades de 1,23 g mL⁻¹) produzida pela Plenar em todas as fases de desenvolvimento da cultura, a qual continha as seguintes concentrações de nutrientes (g L⁻¹): 77,65 de N; 15,95 de P; 75,26 de K; 23,39 de S; 41,60 de Ca; 17,82 de Mg; 0,27 de B; 0,08 de Cu; 1,09 de Fe; 0,29 de Mn; 0,05 de Mo; 0,06 de Ni e 0,11 de Zn. A aferição e correção de condutividade e pH ocorreram todas as manhãs. Nesta ocasião a condutividade

pontual foi medida e procedida a reposição da solução nutritiva. Nas soluções nutritivas de todos os tratamentos foram mantidas a condutividade de $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ no período de berçário, $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ nos primeiros 10 DAT (dias após o transplante) e a $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ no restante do ciclo (Figura 3). O pH da solução também foi monitorado diariamente e permaneceu entre 5,5 e 6,0, não necessitando de intervenção.

Figura 3 – Condutividade elétrica medida e volume de reposição de nutrientes na cultura da alface hidropônica sob diferentes vazões. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

A colheita foi realizada aos 22 DAT com acúmulo térmico de 355,86 graus-dia, sendo nesta ocasião avaliadas a massas frescas total, do sistema radicular e da parte aérea das 15 plantas de alface. Em seguida procedeu-se a secagem em estufa de ventilação de ar forçado a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, posteriormente, obteve-se as massas secas total, do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

Após a secagem, pesagem e moagem destes materiais vegetais em moinho tipo Wiley, foram determinados de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997), os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea, raízes e na folha diagnose da alface (folhas recém desenvolvidas, conforme descrito por Trani e Rajj (1997)). Os acúmulos de nutrientes na parte aérea e raízes das plantas foram calculados com base nas respectivas massas secas e nos teores dos nutrientes supracitados. Também foram determinados os teores de nitrato e amônio na parte aérea da alface conforme a metodologia descrita por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985).

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) para cada tratamento foi calculada pela seguinte expressão: $EUA = (\text{massa seca total da planta})^2 / (\text{acúmulo total do nutriente na planta})$; em $(\text{g de MS})^2 / \text{g do nutriente acumulado}$ (SIDDIQI; GLASS, 1981).

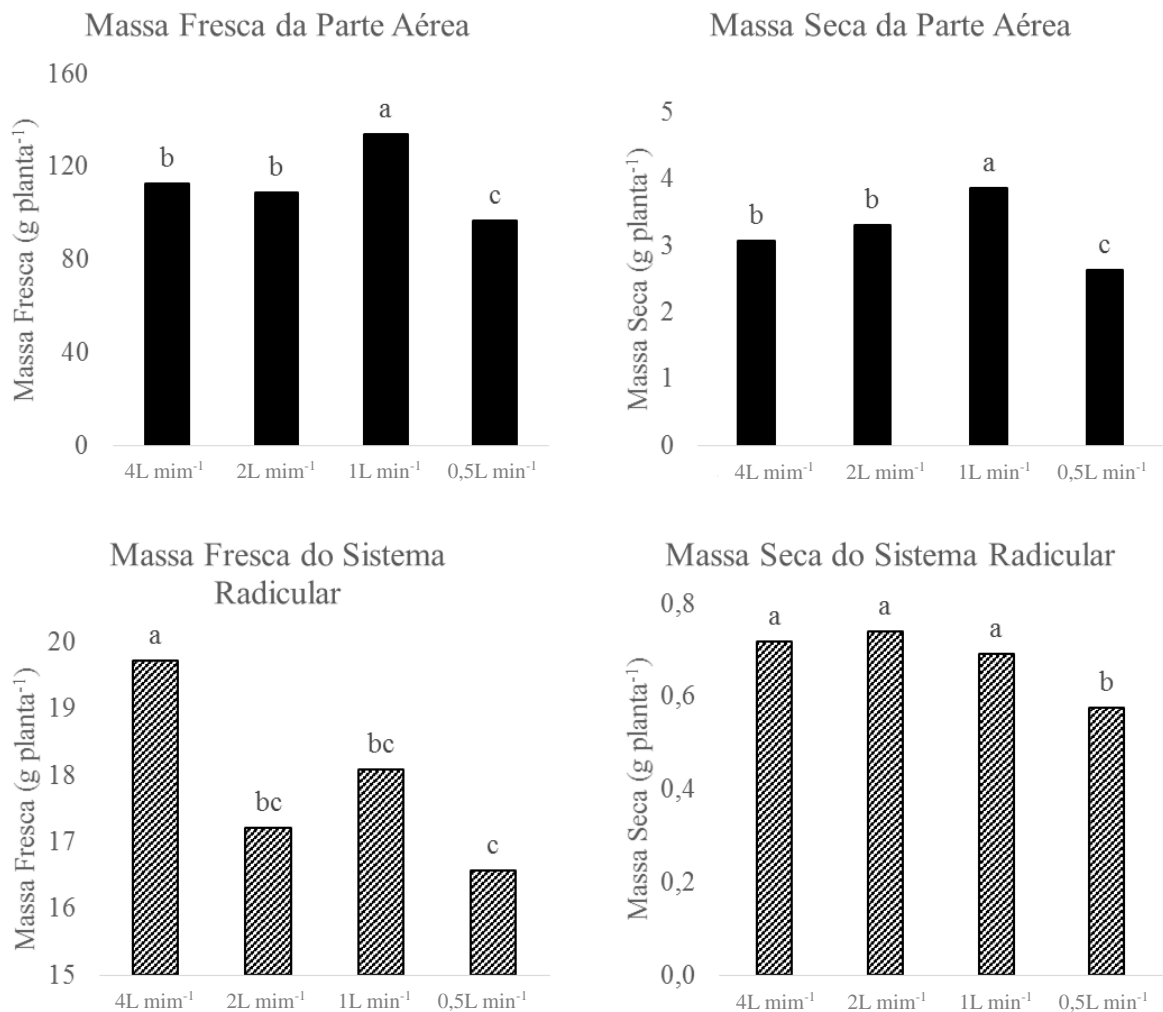
Os resultados foram submetidos à análise de variância e inicialmente a análise de regressão polinomial, porém em função da obtenção de ajustes a equações com baixo coeficiente de determinação (R^2), e tendo em vista a necessidade prática de discriminar a vazão que agregou o maior número das variáveis estudadas em posição de interesse produtivo, e não o resultado individual para a vazão ótima de cada variável, optou-se por comparar as médias dos tratamentos (vazões da solução nutritiva) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para análise estatística foi utilizado o programa SISVAR.

Procedeu-se também análise econômica, com o cálculo do custo de produção de acordo com metodologia adaptada a proposta por Matsunaga et al. (1976), considerando variável apenas o desembolso direto, agrupando o investimento, depreciação e custo de oportunidade do capital investido em um único componente de custo fixo da instalação, tendo como vista, uma estrutura locada com custo fixo.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As alfaces cultivadas na vazão de $1,0 \text{ L min}^{-1}$ de solução nutritiva apresentaram a maior produção de massa fresca e seca da parte aérea (Figura 4), seguido de $2,0$ e $4,0 \text{ L min}^{-1}$ que não se diferiram. O resultado menos satisfatório para produção de massa fresca e seca da parte aérea foi evidenciado com $0,5 \text{ L min}^{-1}$ que foi inferior em 28 e 32%, respectivamente, quando comparados a $1,0 \text{ L min}^{-1}$.

Figura 4 – Massas fresca e seca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes vazões de solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A menor produção de massa fresca e seca da parte aérea ocorreram nas vazões de 2,0 e 4,0 L min⁻¹ em relação a 1,0 L min⁻¹, indicando excesso na intensidade de aplicação de solução nutritiva.

O método NFT preconiza a obtenção de uma lâmina de solução nutritiva ao fundo do canal de cultivo com espessura não maior que quatro milímetros, desta maneira somente um terço do sistema radicular permanece submersível, garantindo a oxigenação das raízes.

Com o incremento da vazão para 2,0 e 4,0 L min⁻¹, ocorreu a elevação da lâmina de solução nutritiva acima do primeiro terço radicular, apresentando o escurecimento e necrose da estrutura e também o surgimento de raízes adventícias pronunciadas, objetivando a

compensação pela perda de parte do sistema radicular, todavia já acumulados prejuízos nutricionais irreversíveis (Figura 1) (PRADO; CECÍLIO FILHO, 2016).

Figura 5 – Sistema radicular de alface impactado pela baixa oxigenação (Esquerda) e Sistema radicular com adequado suprimento de oxigênio (Direita). Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Não obstante, o incremento da vazão elevou proporcionalmente a velocidade da solução nutritiva, o que promoveu maior atrito às raízes posicionadas como barreiras físicas à trajetória da solução. O efeito do crescente atrito proporcionou lesões ao sistema radicular, o que contribuiu com a redução da capacidade de absorção de nutrientes das raízes, observado pelo menor acúmulo de nutrientes na parte aérea (exceto Zn) em relação à vazão de $1,0 \text{ L min}^{-1}$, prejudicando assim, o desenvolvimento da alface.

O resultado não satisfatório obtido com a vazão de $0,5 \text{ L min}^{-1}$, tanto em massa fresca quanto seca, no desenvolvimento da parte aérea ou do sistema radicular, indicou que houve exposição das plantas ao estresse hídrico, induzindo menor potencial de água nas folhas, da condutância estomática e do fluxo de CO_2 , resultando em um impacto adverso nas acumulações de compostos fotoassimilados e como consequência, da produção da cultura

(BANDEIRA et al., 2011). O estresse hídrico causa mudanças nas respostas estomáticas, no ajuste osmótico e movimento importante de fotoassimilados para as raízes, no consumo de energia metabólica e afeta a produção vegetal em qualquer parte da planta, bem como sua qualidade comercial (GEISENHOFF et al., 2016).

Em estudo semelhante, a vazão de $0,5 \text{ L min}^{-1}$ apresentou-se inferior às demais vazões testadas em experimentos realizados no Paraná (SANTOS et al., 2011) e Rio de Janeiro (GENUNCIO et al., 2012). Cabe ressaltar ainda que, a temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar mais intensas no local de estudo também contribuíram para o estresse hídrico, prejudicando ainda mais as plantas com esta vazão.

Quanto ao sistema radicular da alface, para massa fresca, o maior desenvolvimento foi obtido para $4,0 \text{ L min}^{-1}$ seguido de $2,0$ e $1,0 \text{ L min}^{-1}$ que não se diferiram de $0,5 \text{ L min}^{-1}$, o qual apresentou a massa fresca de raízes inferior (Figura 4). Todavia, a vazão de $0,5 \text{ L min}^{-1}$ proporcionou a menor massa seca de raízes dentre os tratamentos.

O tratamento com $4,0 \text{ L min}^{-1}$ foi o único a apresentar comportamento distinto entre massa seca e fresca, apresentando incremento de massa fresca em oposição à massa seca (Figura 4). A expressão desse comportamento pode estar associada ao efeito benéfico da dissipação do calor no interior do canal de cultivo, dado alto volume de solução corrente nesse tratamento (CASAROLI, et al. 2003).

Analisando os teores de nutrientes na folha diagnose com base nas faixas de suficiência proposto por Trani e Raij (1997), verificou-se que, para todos os tratamentos, os teores dos nutrientes foliar estavam adequados ou altos, com exceção do K que estava deficiente (Tabela 1). Ressalta-se também que as vazões de $1,0$ e $2,0 \text{ L min}^{-1}$ proporcionaram teores de Ca foliar inferiores ao recomendado pelos autores supracitados. Entretanto, não foram detectados sintomas de deficiência de K e Ca, caracterizando uma deficiência moderada ou até mesmo uma menor exigência deste cultivar de alface em relação a estas bases trocáveis.

Tabela 1 – Interpretação dos teores de nutrientes na folha diagnose da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes vazões de solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	4L mim ⁻¹ ¹		2L mim ⁻¹ ¹		1L mim ⁻¹ ¹		0,5L mim ⁻¹ ¹	
	Teor foliar	%	Teor foliar	%	Teor foliar	%	Teor foliar	%
N	39,43 A	43%	43,80 A	45%	42,0 A	46%	43,43 A	42%
P	7,43 H	8%	6,73 A	7%	7,53 H	8%	10,20 H	10%
K	20,37 L	-22%	24,57 L	-25%	21,70 L	-24%	20,97 L	-20%
Ca	15,17 A	17%	12,80 L	-13%	11,70 L	-13%	18,43 A	18%
Mg	4,77 A	5%	4,93 A	5%	5,20 A	6%	5,90 A	6%
S	3,53 H	4%	3,13 H	3%	2,97 H	3%	3,83 H	4%
B	77,33 H	0,08%	62,67 H	0,06%	55,00 A	0,06%	102,33 H	0,10%
Cu	39,00 H	0,04%	24,67 H	0,03%	15,33 A	0,02%	40,67 H	0,04%
Fe	242,67 H	0,27%	164,67 H	0,17%	149,67 A	0,16%	237,33 H	0,23%
Mn	176,33 H	0,19%	124,67 A	0,13%	134,67 A	0,15%	182,67 H	0,18%
Zn	244,67 H	0,27%	134,67 H	0,14%	117,67 H	0,13%	184,33 H	0,18%

¹ vazões submetidas a um duto de PVC retangular, com intermitência de 15 minutos e intervalos de 30 minutos, sete metros de comprimento e inclinação de 10%.

Teores de nutrientes da folha diagnose de alface, interpretado com base em dados obtidos por Trani e Raij (1997), apontados como alto (H), adequado (A) e baixo (L).

Com relação aos teores de nutrientes na parte aérea (Tabela 2), notou-se maiores teores de P, Ca, Mg, Mn e Zn com a menor vazão (0,5 L min⁻¹), o que se explica pelo efeito concentração, pois neste tratamento ocorreu menor acúmulo de matéria seca. Vale destacar ainda, que nesta vazão (0,5 L min⁻¹) houve maior teor de nitrato e menor teor de amônio em relação aos demais.

Tabela 2 – Teores e acúmulos de nutrientes na parte aérea e sistema radicular de alface americana sob sistema hidropônico com diferentes vazões de solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	4L mim ⁻¹	2L mim ⁻¹	1L mim ⁻¹	0,5L mim ⁻¹	4L mim ⁻¹	2L mim ⁻¹	1L mim ⁻¹	0,5L mim ⁻¹
	Teor na parte aérea (g kg⁻¹)				Acúmulo na parte aérea (g planta⁻¹)			
N	38,40 a	40,57 a	39,67 a	42,07 a	0,11 c	0,13 b	0,16 a	0,10 c
NO₃⁻	0,642 b	0,858 b	0,805 b	3,500 a	0,002 b	0,003 b	0,009 a	0,009 a
NH₄⁺	2,193 a	2,362 a	2,333 a	1,925 b	0,007 a	0,008 a	0,009 a	0,005 b
P	8,03 b	7,43 b	8,10 b	10,83 a	0,02 b	0,02 b	0,03 a	0,02 b
K	30,37 a	31,57 a	31,40 a	28,20 a	0,09 c	0,10 b	0,12 a	0,06 d
Ca	16,60 b	15,80 b	15,23 b	21,80 a	0,05 b	0,05 b	0,06 a	0,05 b
Mg	7,80 b	7,57 b	6,93 b	9,63 a	0,02 b	0,02 b	0,03 a	0,02 b
S	3,30 a	2,93 a	2,80 a	3,03 a	0,01 b	0,01 b	0,01 a	0,01 c
	Teor na parte aérea (mg kg⁻¹)				Acúmulo na parte aérea (mg planta⁻¹)			
B	37,33 a	34,33 a	34,00 a	42,00 a	0,11 b	0,11 b	0,13 a	0,10 b
Cu	18,00 a	15,67 a	13,67 a	22,00 a	0,05 a	0,05 a	0,05 a	0,05 a
Fe	296,33 a	233,33 a	240,67 a	287,00 a	0,86 a	0,75 b	0,93 a	0,66 b
Mn	187,00 b	148,00 bc	137,67 c	191,67 a	0,54 a	0,47 b	0,54 a	0,44 b
Zn	188,00 a	162,00 ab	118,33 b	217,67 a	0,55 a	0,52 ab	0,47 b	0,50 ab
	Teor no sistema radicular (g kg⁻¹)				Acúmulo no sistema radicular (g planta⁻¹)			
N	36,67 a	37,93 a	37,60 a	33,70 a	0,026 b	0,028 b	0,026 b	0,083 a
P	13,20 c	16,27 b	15,07 b	22,30 a	0,009 b	0,012 b	0,010 b	0,052 a
K	15,40 a	14,37 a	15,17 a	19,43 a	0,011 b	0,011 b	0,011 b	0,050 a
Ca	8,63 a	7,90 a	8,03 a	8,97 a	0,006 b	0,006 b	0,006 b	0,022 a
Mg	2,83 a	2,10 a	2,50 a	2,70 a	0,002 b	0,002 b	0,002 b	0,007 a
S	7,47 b	6,57 b	7,07 b	9,23 a	0,005 b	0,005 b	0,005 b	0,019 a
	Teor no sistema radicular (mg kg⁻¹)				Acúmulo no sistema radicular (mg planta⁻¹)			
B	84,00 a	50,33 b	54,00 b	63,00 b	0,059 a	0,037 b	0,038 b	0,039 b
Cu	176,33 c	207,00 ab	186,67 bc	222,00 a	0,124 b	0,154 a	0,130 b	0,137 ab
Fe	12794 c	15211 b	11531 c	24523 a	8,961 c	11,29 b	7,957 c	15,07 a
Mn	91,33 a	75,33 a	73,00 a	76,67 a	0,064 a	0,056 b	0,051 b	0,047 c
Zn	157,67 a	140,00 a	120,33 a	174,67 a	0,110 a	0,104 a	0,084 b	0,107 a

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

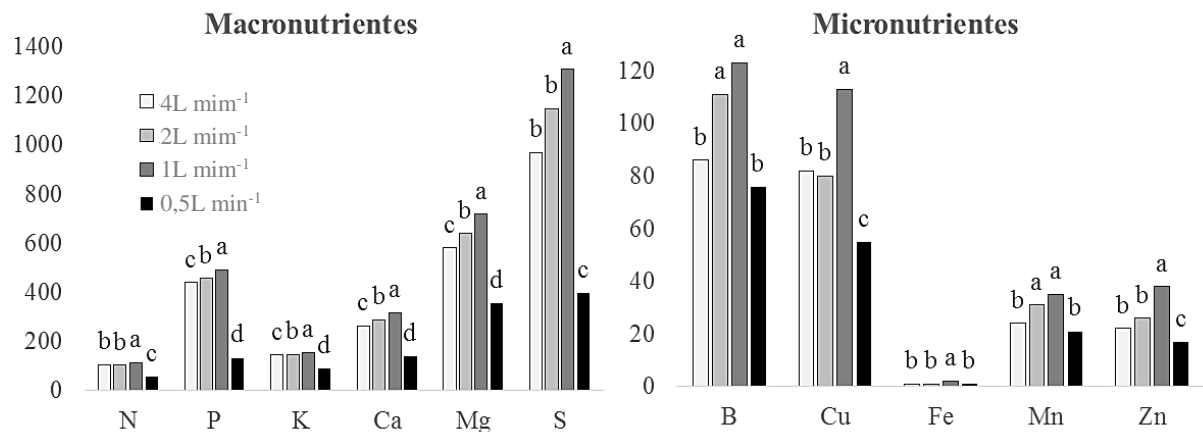
Para os teores de nutrientes no sistema radicular (Tabela 2), a menor vazão proporcionou os maiores teores de P, S, Fe e Cu, enquanto na maior vazão (4,0 L min⁻¹), verificou-se um maior teor de B na raiz. Em relação aos teores dos outros nutrientes, nitrato e amônio não foram constatadas diferenças entre os tratamentos.

Todavia, quando considerado o acúmulo dos nutrientes na parte aérea da alface, nota-se que a vazão de 1,0 L min⁻¹ proporcionou os maiores teores de nutrientes (exceto de Zn), ratificando o melhor desempenho na produção de massa fresca e seca deste tratamento

(Tabela 2). O teor de Zn pode ter sido menor devido ao antagonismo iônico por inibição não competitiva apresentado entre Zn e P (MOREIRA et al., 2001). As vazões de 4,0 e 2,0 L min⁻¹ propiciaram acúmulos de nutrientes medianos, e a vazão de 0,5 L min⁻¹ apresentou as menores quantidades acumuladas da maioria dos nutrientes, e assemelhando-se ao de 4,0 e 2,0 L min⁻¹ para alguns nutrientes. Estes resultados reforçam que a avaliação de acúmulo de nutrientes tem correlação mais estreita com a produção da cultura em relação aos teores de nutrientes.

No sistema radicular o contexto se inverteu, a vazão de 0,5 L min⁻¹ apresentou os maiores acúmulos de nutrientes, com exceção ao B e Mn (Tabela 2). Enquanto que, o tratamento 1,0 L min⁻¹ apresentou as menores quantidades acumuladas de todos nutrientes nas raízes. Isto se deve as maiores eficiências de transporte (dados não apresentados) e de utilização (ou uso) de todos os nutrientes verificadas com a vazão de 1,0 L min⁻¹ (Figura 6).

Figura 6 – Eficiência de utilização de nutrientes da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes vazões de solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O teor de nitrato na parte aérea foi superior quando se utilizou a menor vazão (0,5 L min⁻¹), atingindo o valor de 3,5 g kg⁻¹. Nos demais tratamentos o teor de nitrato ficou abaixo de 0,85 g kg⁻¹ (Tabela 2). Teores menores de nitrato foram obtidos por Cavarianni et al. (2000), avaliando cultivares de alface: com 1,545 a 1,963 g kg⁻¹ para alface lisa, de 1,242 a 1,536 g kg⁻¹ para as crespas e de 1,030 a 1,965 g kg⁻¹ para a do tipo americana. Vale destacar que os teores de nitrato, com exceção do obtido para menor vazão, estão bem abaixo do padrão estabelecido pela legislação europeia, que vai de 3,50 a 4,55 g kg⁻¹ para massa fresca (FAQUIN; ANDRADE, 2004).

O nitrogênio, constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos (MALAVOLTA et al., 1997) é fornecido para a planta no sistema hidropônico na forma do íon amônio e nitrato. Contudo, o nitrato deve ser reduzido a nitrito no citoplasma das células vegetais e posteriormente, o nitrito é convertido a amônio nos cloroplastos, em pleno processo fotossintético (FAQUIN; ANDRADE, 2004), entretanto, sob estresse hídrico, mesmo que moderado, a planta apresenta decréscimo na taxa fotossintética (LAWLOR; EZARA, 2009), favorecendo o acúmulo do nitrato nos tecidos. Em outros estudos, o teor de nitrato no tecido foliar da alface tendeu a aumentar à medida que se distanciou da vazão de 1 L min⁻¹, para mais ou para menos (OHSE et al., 2009; APRÍGIO et al., 2012), corroborando em parte com os resultados obtidos.

Os tratamentos estudados apresentaram ordem de extração dos macronutrientes: N>K>Ca>P>Mg>S (Tabela 2), semelhante ao relatado como adequado para uma alta produtividade de alface (FAQUIN et al., 1996). Para os micronutrientes, nas vazões de 2,0 e 0,5 L min⁻¹ constatou-se que ordem de extração foi Fe>Zn>Mn>B>Cu, semelhante ao descrito por Faquin et al. (1996), contudo a vazão de 4,0 L min⁻¹ apresentou alternância entre a ordem de Fe e Zn e na vazão de 1,0 L min⁻¹ inverteu-se a ordem de Mn e Zn.

Economicamente, a vazão de 1,0 L min⁻¹ da solução nutritiva proporcionou a maior relação benefício-custo e maior lucratividade, seguido das vazões de 2,0, 4,0 e 0,5 L min⁻¹, que por sua vez, apresentou lucratividade e relação benefício-custo insignificante (Tabela 3). A vazão 0,5 L min⁻¹ proporcionou 1,59% da receita líquida comparado ao melhor tratamento (1,0 L min⁻¹).

Tabela 3 – Custo de produção, receita bruta e receita líquida por planta de alface hidropônica sob diferentes vazões de solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	4L mim ⁻¹ 1		2 L mim ⁻¹ 1		1 L mim ⁻¹ 1		0,5 L mim ⁻¹ 1	
	R\$	%	R\$	%	R\$	%	R\$	%
Custo de produção (A)								
Mão-de-Obra ²	0,26	34%	0,26	37%	0,26	40%	0,26	42%
Energia elétrica ³	0,16	21%	0,08	11%	0,04	6%	0,02	3%
Adubo ⁴	0,10	13%	0,13	18%	0,11	17%	0,10	16%
Água ⁵	0,03	4%	0,03	4%	0,03	5%	0,03	5%
Mudas ⁶	0,07	9%	0,07	10%	0,07	11%	0,07	11%
Defensivos ⁷	0,04	5%	0,04	6%	0,04	6%	0,04	6%
Custo fixo da instalação ⁸	0,10	13%	0,10	14%	0,10	15%	0,10	16%
Subtotal	0,76		0,71		0,65		0,62	
Receita Bruta (B)								
Nº de plantas por Maço ⁹	3	33%	3	33%	2	50%	4	25%
Subtotal	0,83		0,83		1,25		0,63	
Receita Líquida (A – B)								
Subtotal	0,07		0,13		0,60		0,01	
Benefício-custo	110%		118%		192%		102%	

¹Vazões submetidas a um duto de PVC retangular, com intermitência de quinze minutos e intervalos de 30 minutos, sete metros de comprimento e inclinação de 10%; ²Custo de mão-de-obra total do estabelecimento durante o ciclo de produção, individualizado por planta; ³Custo de energia elétrica considerado a crescente capacidade de bombeamento a medida que as vazões decrescem; ⁴Custo da solução nutritiva consumida no ciclo de produção; ⁵Custo de água consumida durante o ciclo de produção; ⁶Custo total da muda de alface em espuma fenólica incluindo a condução em berçário; ⁷Custo de aplicação de Difenconazol e Casugamicina; ⁸Custo atribuído a locação de uma casa de vegetação equipada para hidroponia; ⁹Quantidade de plantas necessárias para a composição de um maço comercial ao valor de mercado atacado de R\$2,50.

CONCLUSÕES

A vazão da solução nutritiva em sistemas hidropônicos, para produção de alface americana, altera o desempenho técnico e econômico da cultura.

A maior produção e lucratividade de alface americana CV. Betty foi obtida com a vazão da solução nutritiva de $1,0 \text{ L min}^{-1}$, devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e sua eficiência de utilização.

REFERÊNCIAS

- APRÍGIO, A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; COSTA, A. R.; SOUZA, R. S. Teor de nitrato em alface hidropônica em função de vazões e períodos de pós-colheita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 9, p. 946-951, 2012.
- BANDEIRA, G. R. L.; PINTO, H. C. S.; MAGALHÃES, P. S.; ARAGÃO, C. A.; QUEIROZ, S. O. P.; SOUZA, E. R.; SEIDO, S. L. Manejo de irrigação para cultivo de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 2, p. 237-241, 2011.
- CARMELLO, Q. A. C. **Cultivo hidropônico de plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1996. 43 p.
- CAVARIANNI, R. L.; CAZETTA, J. O.; MAY, A.; BARBOSA, J.C.; CECÍLIO FILHO, A. B. Acúmulo de nitrato em cultivares de alface, cultivada na primavera, em função do ambiente de cultivo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, p. 324-325, 2000.
- CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SANTOS, O. S.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; NOGUEIRA FILHO, H. Desempenho de onze cultivares de alface em duas formas diferentes de canais de cultivo, no sistema hidropônico. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 10, n. 1, p. 25-33, 2003.
- COOPER, A. **The ABC of NFT**. Narrabeen: Casper Publications, 1996. 171 p.
- FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- FAQUIN, V.; FURLANI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 50 p.
- FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. Cultivo de hortaliças em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 99-104, p. 236, 1999.
- GEISENHOFF, L. O.; PEREIRA, G. M.; LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P.; AVIZ, W. L. C. D. Greenhouse crisphead lettuce grown with mulching and under different soil water tensions. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 46-54, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v36n1/1809-4430-eagri-36-1-0046.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- GENUNCIO, G. C.; GOMES, M.; FERRARI, A. C.; MAJEROWICZ, N.; ZONTA, E. Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 526-530, 2012.
- LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.

- LONDERO, F. A. A.; AITA, A. Comercialização de alface hidropônica. In: SANTOS, O. **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. p. 145-152.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MATSUNAGA, M. B.; TOLEDO, P.F. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.
- MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CAMARGO, M. I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 6, p. 903-909, 2001.
- OHSE, S.; RAMOS, D. M. R.; CARVALHO, S. M. D.; FETT, R.; OLIVEIRA, J. L. B. Composição centesimal e teor de nitrato em cinco cultivares de alface produzidas sob cultivo hidropônico. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 407-414, 2009.
- PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: Funep, 2016. 600 p.
- RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: Funep, 2002. 762 p.
- SANTOS, R. F.; FURTADO, L. F.; BASSEGIO, D.; SECCO, D.; SOUZA, S. N. M.; FRIGO, E. P. Relação entre as vazões de aplicação de solução nutritiva em cultivo de alface hidropônica. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 4, p. 204-216, 2011. Disponível em: <https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/592dc687dd518.pdf>. Acesso em: 25 out. 2017.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M.. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- STAFF, H. **Hidroponia**. 2. ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 101 p. (Coleção Agroindústria, 11).
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 95p. (Boletim Técnico, 5).
- TRANI, P.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 157-164. (Boletim Técnico, 100).

CAPITULO 3 – NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA PERIODICIDADE DE EXPOSIÇÃO À SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

O equilíbrio entre o tempo de alternância do fluxo da solução nutritiva visando o melhor desempenho agrônomo e menor custo de produção é de fundamental importância no cultivo hidropônico, ainda mais porque é um fator até então muito pouco explorado pelos produtores. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da periodicidade de exposição à solução nutritiva em sistema hidropônico NFT, na nutrição e a produção econômica de alface americana. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram quatro combinações de intermitência de exposição da solução nutritiva em intervalos de bombeamento / intervalo de ausência de bombeamento, sendo estes em minutos: 15/60; 15/30; 15/15 e FI (Fluxo inintermitente da solução nutritiva). Cada tratamento continha 15 plantas de alface americana. A periodicidade de exposição da solução nutritiva em sistemas hidropônicos para produção de alface americana influencia o desempenho técnico e econômico da cultura. A maior produção e lucratividade de alface americana foi obtida com fluxo inintermitente da solução nutritiva (FI), devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e raiz, maior assimilação de nitrato e eficiência de utilização de nutrientes. Economicamente, a condução em intervalo 15/30 minutos nas condições estudadas, não supre o custo de produção e acarreta prejuízo financeiro.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., concentração de nutrientes foliar, diagnose foliar, lucratividade, sistema hidropônico NFT, alternância do fluxo da solução nutritiva.

NUTRITION AND ECONOMIC PRODUCTION OF AMERICAN LETTUCE IN FUNCTION OF THE PERIODICITY OF EXPOSURE TO NUTRITIVE SOLUTION

ABSTRACT

The equilibrium between the flow time of the nutrient solution aiming at the best agronomic performance and lower cost of production is of fundamental importance, especially since it is a factor that has been little explored until now. Thus, the objective was to evaluate the effect of periodicity of exposure to nutrient solution in NFT hydroponic system, in the nutrition and economic production of American lettuce. The experimental design was in randomized blocks, with five replicates. The treatments were four combinations of intermittent exposure of the nutrient solution in pumping intervals / absence of pumping interval, these being in minutes: 15/60; 15/30; 15/15 and 15/0. Each treatment contained 15 American lettuce plants. The periodicity of exposure of the nutrient solution in hydroponic systems for the production of American lettuce alters the technical and economic performance of the crop. The highest production and profitability of American lettuce was obtained with continuous flow of the nutrient solution (15/0 minutes), due to the greater accumulation of nutrients in the shoot part and root, greater assimilation of nitrate and nutrient utilization efficiency. Economically, driving in 15/30 minutes interval under the conditions studied, does not supply the cost of production and entails financial loss.

Keywords: *Lactuca sativa* L., foliar nutrients concentration, foliar diagnosis, profitability, NFT hydroponic system, alternating flow of nutrient solution.

3.1 INTRODUÇÃO

O método de produção hidropônica NFT (Técnica do Filme de Nutrientes) preconiza a oxigenação do sistema radicular da cultura, parcialmente imersa, por meio da intermitência de exposição e da espessura da lâmina da solução nutritiva (STAFF, 1998).

A intermitência de exposição ocorre em ciclos alternados de bombeamento, onde sua periodicidade é dependente das características ambientais, especialmente da intensidade luminosa e da temperatura do ar, do meio de cultivo e da fisiologia da planta (ANDRIOLO, 1999).

O fluxo de solução nutritiva tem por objetivo o transporte de água, nutrientes e oxigênio às raízes da planta cultivada, e indiretamente responsável pela manutenção da umidade e temperatura no interior do canal de cultivo (COOPER, 1996).

O tempo de alternância entre o fluxo e a ausência da solução nutritiva nos canais de cultivo deve ser considerado em função do fornecimento de água à planta, contrapondo-se a ausência desta para a aeração das raízes submersas durante o fluxo. Excedendo-se o tempo em ausência de fluxo da solução nutritiva, ocorrerá déficit hídrico, provocando aumento na temperatura das folhas e fechamento dos estômatos, diminuindo assim a fotossíntese. Como consequência, a cultura ajustará a fotossíntese foliar à disponibilidade hídrica, provocando redução na produção vegetal (TAIZ; ZEIGER, 1998).

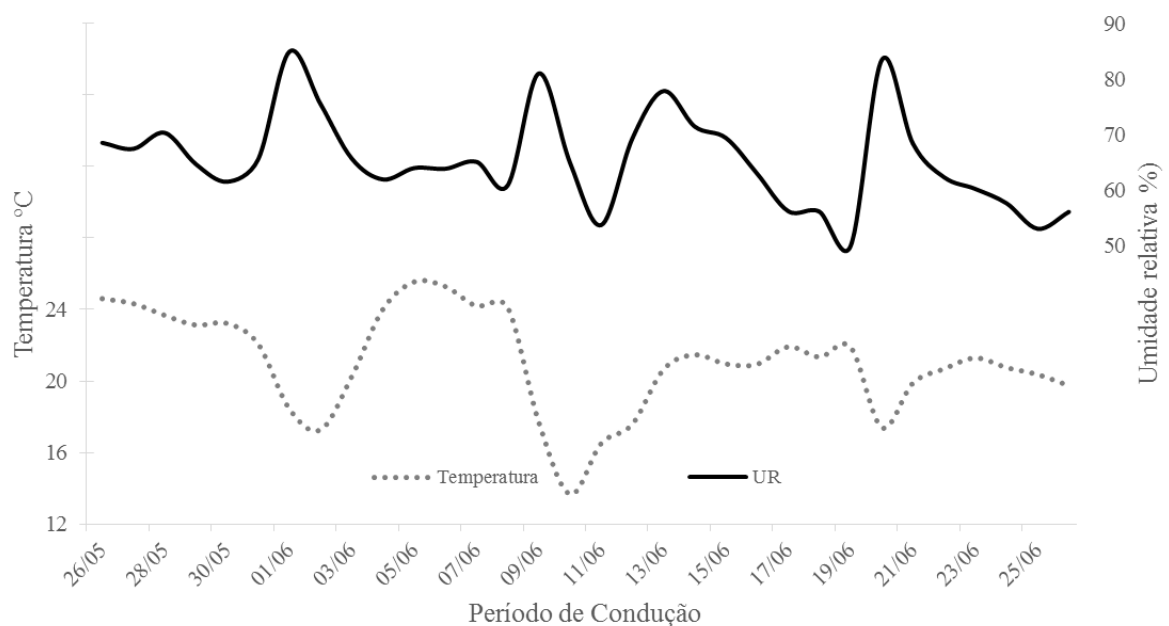
O efeito da ausência prolongada também provoca elevação da temperatura e queda na umidade relativa interna no canal de cultivo, implicando na morte e necrose de parte do sistema radicular (PRADO; CECÍLIO FILHO, 2016).

Todavia, quando a solução nutritiva permanece circulando por tempo além do necessário, sem propiciar aumento de desempenho, impacta diretamente no consumo de energia elétrica, o qual pode chegar em 19,7% do custo variável total (LONDERO; AITA, 2000). Portanto, o equilíbrio entre o tempo de alternância do fluxo da solução nutritiva visando o melhor desempenho agrônômico e menor custo de produção é de fundamental importância, ainda mais porque é um fator até então muito pouco explorado pelos produtores e pela pesquisa. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da periodicidade de exposição à solução nutritiva em sistema hidropônico NFT, na nutrição e a produção econômica de alface americana.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma instalação comercial coberta com tela vermelha com 25% de sombreamento, no município de Aparecida do Taboado - MS (-20° 3' 58", -51° 10' 54") e desenvolvido entre maio e junho de 2017. O clima no período do experimento apresentou temperaturas que oscilaram de 11 a 25 °C e umidade relativa do ar entre 50 e 90% (Figura 1).

Figura 1 – Temperatura e umidade relativa do ar durante a execução do teste. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



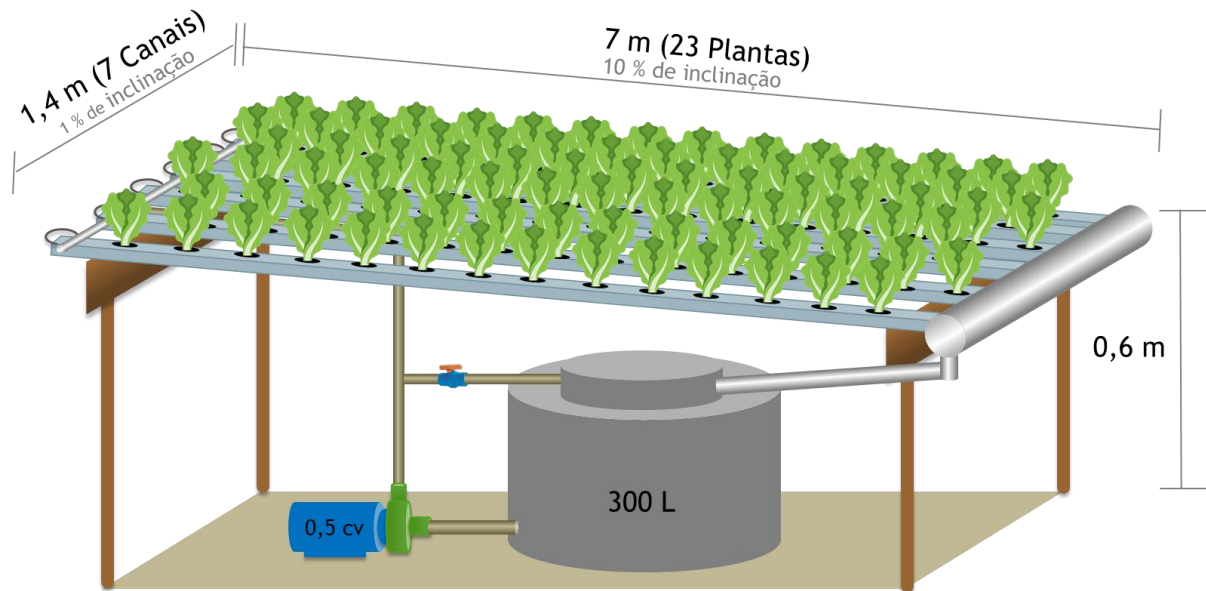
Fonte: Dados do Autor.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram quatro combinações de intermitência de exposição da solução nutritiva em intervalos de bombeamento / intervalo de ausência de bombeamento, sendo estes em minutos: 15/60; 15/30; 15/15 e FI (fluxo ininterrupto), em que cada tratamento continha 15 plantas de alface americana.

As unidades experimentais foram instaladas em bancadas individuais, de sete metros de comprimento e declividade de 10%. Os canais de cultivos foram instalados em perfil de PVC com seção retangular, de 8 centímetros de largura e 4 centímetros de altura, com perfurações superiores para alojamento das plantas a cada 25 centímetros. Cada bancada contou com 7 canais de cultivos espaçados em 20 centímetros, com sistema de bombeamento

individual, e um reservatório de 310 litros, mantido ao mínimo de 95% de sua capacidade (Figura 2).

Figura 2 – Esquema da bancada de condução do experimento. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

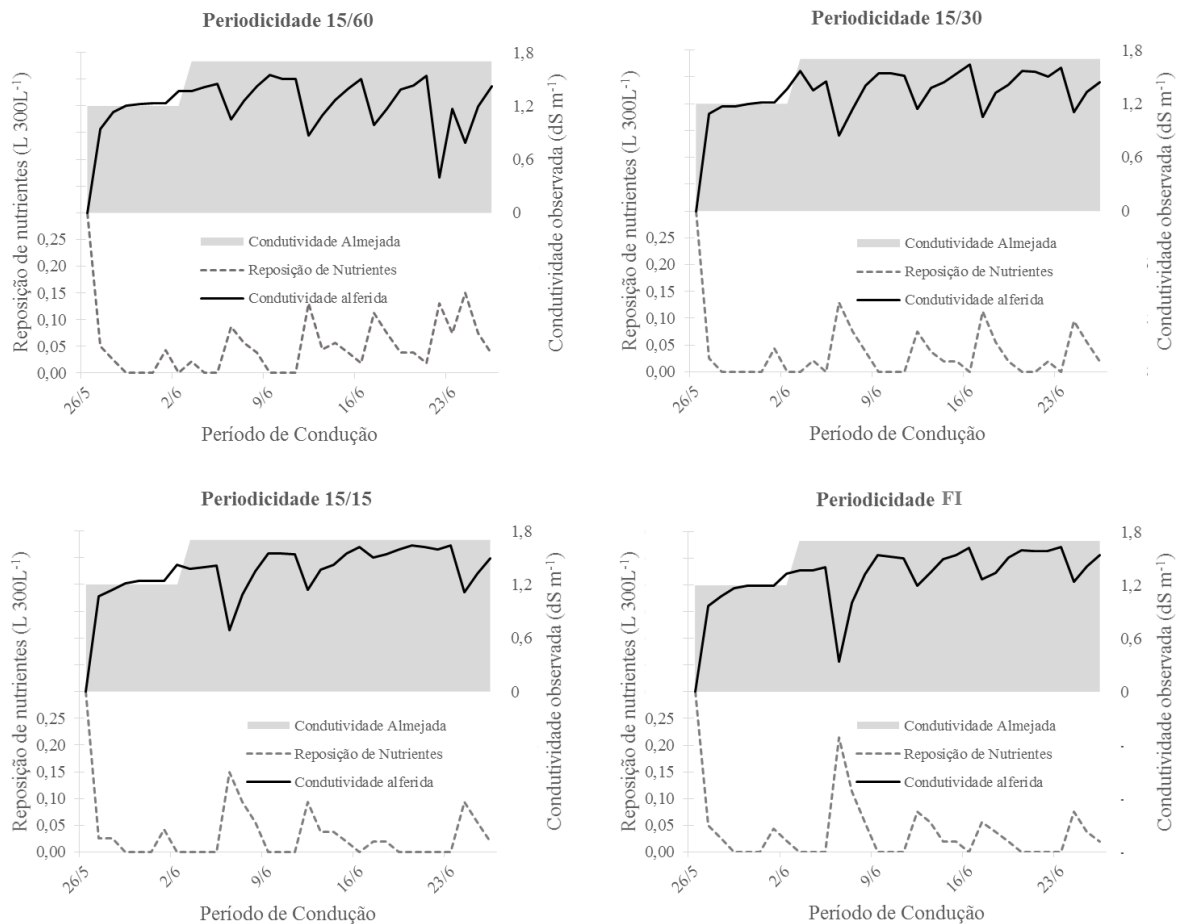
A cultivar de alface utilizada foi a Betty do tipo americana, caracterizada pelo grande porte, alto volume de folhas largas e grossas que conferem boa proteção à cabeça, além de apresentar boa tolerância ao pendoamento precoce. Seu ciclo médio quando cultivado em solo é de 70 dias, porém apresenta precocidade em sistemas hidropônicos e sua população ideal gira em torno de 80 a 160 mil plantas por hectare.

As mudas foram produzidas em espuma fenólica e permaneceram 12 dias em berçário, após esse período foram transplantadas às bancadas definitivas e permaneceram nesta por 22 dias, até o ponto de colheita.

A solução nutritiva manteve-se bombeada em circuito fechado, sob vazão de um litro por minuto em cada canal de cultivo. Utilizou-se a solução nutritiva composta pelos fertilizantes concentrados Plenar Ferti PM1[®] e Plenar Ferti PM2[®] (com densidades 1,23 g ml⁻¹) produzida pela Plenar em todas as fases de desenvolvimento da cultura, a qual continha as seguintes concentrações de nutrientes em g L⁻¹: 77,65 de N; 15,95 de P; 75,26 de K; 23,39 de S; 41,60 de Ca; 17,82 de Mg; 0,27 de B; 0,08 de Cu; 1,09 de Fe 0,29 de Mn; 0,05 de Mo; 0,06 de Ni e 0,11 de Zn. A aferição e correção de condutividade ocorreu todas as manhãs, nesta ocasião a condutividade pontual foi medida e procedida a reposição da solução nutritiva. As

soluções nutritivas de todos os tratamentos foram mantidas à condutividade de $0,9 \text{ dS m}^{-1}$ no período de berçário, a $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ nos primeiros 10 DAT (dias após o transplante) e a $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ no restante do ciclo (Figura 3) O pH da solução também foi monitorado diariamente e permaneceu entre 5,5 e 6,0, não necessitando de intervenção.

Figura 3 – Condutividade elétrica medida e volume de reposição de nutrientes na cultura de alface hidropônica sob diferentes períodos de exposição à solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A colheita foi realizada aos 30 DAT com acúmulo térmico de 343,92 graus-dias, sendo nesta ocasião avaliadas a massas frescas total, do sistema radicular e da parte aérea das 15 plantas de alface. Em seguida procedeu-se a secagem do material vegetal em estufa de ventilação de ar forçado a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas, posteriormente, obtendo-se as massas secas total, do sistema radicular e da parte aérea.

Após a secagem, pesagem e moagem destes materiais vegetais em moinho tipo Wiley, foram determinados, de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997), os teores de N, P,

K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea, raízes e na folha diagnose da alface (folhas recém desenvolvidas, conforme descrito por Trani e Rajj (1997)). Os acúmulos de nutrientes na parte aérea e raízes das plantas foram calculados com base nas respectivas massas secas e nos teores dos nutrientes supracitados. Também foram determinados os teores de nitrato e amônio na parte aérea da alface conforme a metodologia descrita por Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985).

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) para cada tratamento foi calculada pela expressão:

$$EUA = (\text{massa seca total da planta})^2 / (\text{acúmulo total do nutriente na planta}); \text{ em } (\text{g de MS})^2 / \text{g do nutriente acumulado (SIDDIQI; GLASS, 1981)}.$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância e inicialmente a análise de regressão polinomial, porém em função da obtenção de ajustes a equações com baixo coeficiente de determinação (R^2), e tendo em vista a necessidade prática de discriminar a periodicidade de exposição à solução nutritiva que agregou o maior número das variáveis estudadas em posição de interesse produtivo, e não o resultado individual para periodicidade de exposição à solução nutritiva ótima de cada variável, optou-se por comparar as médias dos tratamentos (tempo de exposição à solução nutritiva) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para análise estatística foi utilizado o programa SISVAR.

Procedeu-se também análise econômica por meio de planilha eletrônica, com o cálculo do custo de produção de acordo com metodologia adaptada a proposta por Matsunaga et al. (1976), considerando variável apenas o desembolso direto, agrupando o investimento, depreciação e custo de oportunidade do capital investido em um único componente de custo fixo da instalação, tendo como vista, uma estrutura locada com custo fixo.

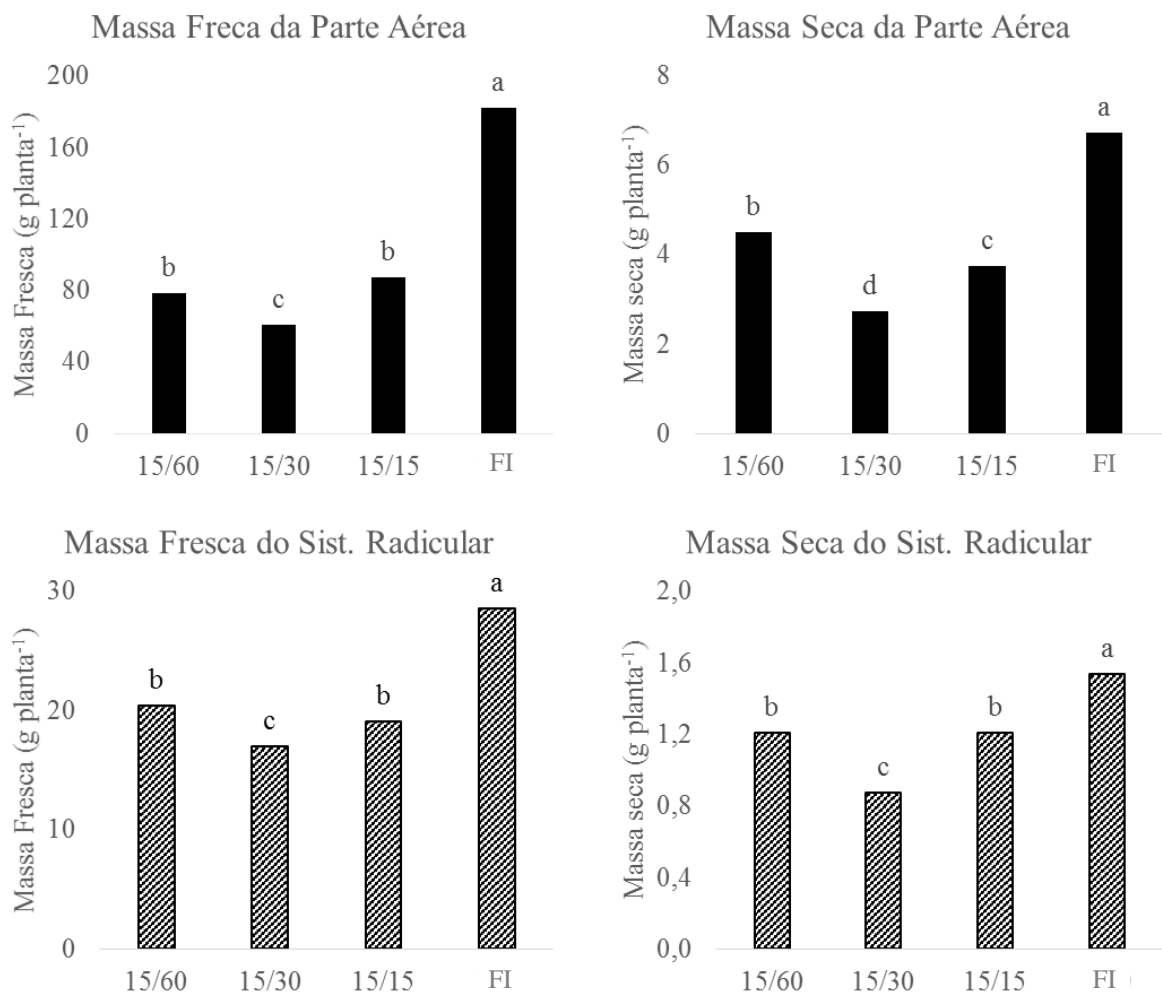
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As alfaces americanas cultivadas com fluxo contínuo da solução nutritiva apresentaram maior produção de massa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular (Figura 4), seguido da periodicidade de exposição à solução nutritiva 15/60 e 15/15 minutos, que somente se diferiram em relação à massa seca de parte aérea. Os resultados menos satisfatórios para as variáveis supracitadas ocorreram no tratamento com regime de 15/30 minutos.

A produção de massa, de maneira geral tendeu a ser reduzida a medida em que se elevou os intervalos de ausência de exposição da solução nutritiva, com exceção ao intervalo mais longo, 15/60 minutos, que retomou os ganhos de produção.

O comportamento dos tratamentos 15/30, 15/15 e FI minutos está diretamente associado a evolução do sistema NFT em relação ao declive do canal de cultivo, que originalmente proposto por Cooper (1996), era de 3 a 4% de declividade, enquanto hoje é usualmente recomendado em 10%. Essa alteração no sistema permite maior velocidade e turbulência no fluxo da solução nutritiva, ocasionando maior resfriamento e maior transporte de oxigênio dissolvido até as raízes submersas. Tal alteração, desde que observada a vazão adequada, parece não corroborar na necessidade de intermitência da solução nas condições estudadas nesse experimento.

Figura 4 – Massa fresca e seca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes períodos (em minutos) de exposição da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor.

A intermitência preconizada no sistema NFT visa, no período de ausência de fluxo da solução, contribuir com a respiração e conseqüente oxigenação do sistema radicular que estava submerso na lâmina da solução nutritiva. Todavia, seu efeito carrega danos colaterais, uma vez que sem a solução fluindo, não ocorre troca de calor absorvido pela tubulação exposta à radiação solar, elevando a temperatura no interior do tubo, o que provoca a morte prematura de raízes (CASAROLI, et al. 2003).

A retomada da produção de massa seca evidenciada no intervalo de 15/60 minutos é justificada, uma vez que em condições severas de comprometimento de sistema radicular, o adequado suprimento de água e nutrientes é prejudicado, desencadeando perdas significativas no desenvolvimento da planta. Nesta ocasião, inicia-se um processo de recuperação emergencial com a emissão de raízes adventícias (Figura 5), visando evitar o risco de morte iminente, o que garante uma segunda chance para suprir a demanda de nutrientes da parte aérea (PRADO; CECÍLIO FILHO, 2017), entretanto com gasto energético desnecessário.

Figura 5 – Sistema radicular de alface impactado pela baixa oxigenação (Esquerda) e Sistema radicular que obteve adequado suprimento de oxigênio (Direita). Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor

A variação de intervalos na faixa de 15 a 45 minutos alternados na mesma razão, alterou a produção de massa seca do sistema radicular em experimento realizado no Rio Grande do Sul, onde os maiores valores obtidos estavam na faixa de 0,76 a 0,83 g por planta, evidenciando o tratamento 45/45 minutos como melhor resultado (DA LUZ, et al. 2008). Valores semelhantes também foram constatados em cultivos de alface, cultivar Regina, durante a primavera, com massa seca total de 9,7 g por planta (BACKES et al., 2003) e no outono com 7,1 g por plantas (CARON et al., 2003).

Também fora proposto, no ano de 2003, um sistema alternativo para o fornecimento e tempo de exposição da solução nutritiva, levando como critério de acionamento do sistema de bombeamento a retenção de solução por meio das raízes, admitindo variação no período de exposição de 20 a 30 minutos até o décimo dia de cultivo e a partir de então variações de até 40 minutos sem haver decréscimo na produtividade (PUGLIESI, 2003). Vale ressaltar que, nenhum dos estudos mencionados utilizaram-se do fluxo contínuo como parâmetro nos testes, deixando como lacuna inexplorada esse tratamento, e salientando-se assim, a importância desta pesquisa.

No tocante a nutrição adequada das plantas, a periodicidade de exposição à solução nutritiva com FI merece destaque por ter sido o único a apresentar nutrientes na folha diagnose em teores adequados ou altos quando comparado a faixa de suficiência proposta por Trani e Rajj (1997). Os demais tratamentos resultaram de maneira comum em teores de K e Ca deficientes (Tabela 1), sendo que os baixos teores de ambos os nutrientes podem estar associados a ineficiente absorção da solução nutritiva em função dos danos ocasionados ao sistema radicular, responsável por essa função. Entretanto, não foram detectados sintomas de deficiência de K e Ca, caracterizando uma deficiência moderada (fome oculta) ou até mesmo uma menor exigência desta cultivar de alface em relação a estas bases trocáveis.

No cultivo hidropônico, a solução nutritiva é o único meio de suprimento de água e minerais disponível a planta, assim sendo, tanto a função de nutrição quanto de estabilidade hídrica provém da absorção do mesmo substrato, cabendo a fisiologia da planta administrar os nutrientes que acompanham a água na manutenção do potencial hídrico da parte aérea ou administrar o volume de água que acompanha a absorção de nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Desta maneira, a maior absorção da solução nutritiva pelas plantas com melhores desempenhos, colabora para o maior teor de micronutrientes nos tecidos, evidenciando mais

micronutrientes em teores altos na periodicidade de exposição à solução nutritiva de FI e decrescente com incremento dos intervalos de 15/60 minutos.

Tabela 1 – Interpretação dos teores de nutrientes na folha diagnose da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes períodos de exposição à solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	15/60		15/30		15/15		FI	
	Teor foliar	%	Teor foliar	%	Teor foliar	%	Teor foliar	%
N	32,67 A	38%	38,33 A	38%	41,3 A	39%	40,93 A	33%
P	5,13 A	6%	5,97 A	6%	6,7 A	6%	6,83 A	6%
K	36,27 L	42%	41,17 L	41%	42,73 L	40%	50,9 A	41%
Ca	6,2 L	7%	8,57 L	8%	7,87 L	7%	15,3 A	12%
Mg	3,23 L	4%	4,57 A	5%	4,43 A	4%	6,43 H	5%
S	1,77 A	2%	2,1 A	2%	2,37 A	2%	2,17 A	2%
B	39,67 A	0,05%	40 A	0,04%	42,67 A	0,04%	43 A	0,03%
Cu	13,33 A	0,02%	15 A	0,01%	23,33 H	0,02%	23,33 H	0,02%
Fe	194,33 H	0,23%	223,33 H	0,22%	198,33 H	0,19%	327,67 H	0,27%
Mn	65,67 A	0,08%	94,67 A	0,09%	100,33 A	0,09%	173,67 H	0,14%
Zn	69 A	0,08%	108 H	0,11%	117,33 H	0,11%	215 H	0,17%

Teores de nutrientes da folha diagnose de alface, interpretado com base em dados obtidos por Trani e Raij (1997), apontados como alto (H), adequado (A) e baixo (L).

¹ Tempo de exposição da solução nutritiva (Ciclo fluxo/descanso) submetida a um duto de PVC retangular, com vazão de 1 litro por minuto, sete metros de comprimento e inclinação de 10%.

Os teores de N, Mg, S, Cu e B na parte aérea da alface não se diferiram entre os tratamentos estudados. Os maiores teores de P, Ca, Mn e Zn foram obtidos no tratamento FI, enquanto, o K e Fe demonstraram comportamento oposto, e tiveram seus maiores teores verificados no tratamento 15/30, embora não tenham diferido de todos tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Teores e acúmulos de nutrientes na parte aérea e sistema radicular de alface americana sob sistema hidropônico com diferentes períodos de exposição à solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	15/60	15/30	15/15	FI	15/60	16/30	15/15	FI
	Teor na parte aérea (g kg⁻¹)				Acúmulo na parte aérea (g planta⁻¹)			
N	37,87 a	39,07 a	37,67 a	37,33 a	0,15 b	0,11 c	0,14 b	0,25 a
NO₃⁻	0,496 a	0,683 a	0,242 b	0,007 c	0,002 a	0,002 a	0,001 b	0,0004 c
NH₄⁺	0,765 a	0,415 b	0,689 a	0,648 a	0,003 b	0,002 c	0,002 c	0,004 a
P	6,13 b	6,53 b	7,60 b	10,47 a	0,03 b	0,02 b	0,03 b	0,07 a
K	66,60 ab	74,60 a	42,57 b	41,47 b	0,30 a	0,21 b	0,16 c	0,28 a
Ca	12,10 b	16,57 ab	14,97 b	20,97 a	0,05 b	0,05 b	0,06 b	0,14 a
Mg	6,90 a	7,23 a	7,10 a	7,43 a	0,03 b	0,02 b	0,03 b	0,05 a
S	2,37 a	2,47 a	2,37 a	2,80 a	0,01 b	0,01 b	0,01 b	0,02 a
	Teor na parte aérea (mg kg⁻¹)				Acúmulo na parte aérea (mg planta⁻¹)			
B	38,33 a	41,67 a	49,00 a	37,33 a	0,17 b	0,12 c	0,18 b	0,25 a
Cu	21,67 a	21,00 a	26,00 a	25,00 a	0,10 b	0,06 c	0,10 b	0,17 a
Fe	520,67 b	659,00 a	562,00 ab	566,67 ab	2,35 b	1,80 c	2,12 d	3,79 a
Mn	116,00 c	151,00 b	152,00 b	229,00 a	0,52 b	0,41 b	0,58 b	1,54 a
Zn	108,33 b	161,33 ab	213,33 ab	274,67 a	0,49 c	0,44 c	0,83 b	1,84 a
	Teor no sistema radicular (g kg⁻¹)				Acúmulo no sistema radicular (g planta⁻¹)			
N	45,00 a	44,60 a	47,23 a	46,90 a	0,054 b	0,039 b	0,057 a	0,072 a
P	14,90 b	17,33 ab	16,96 ab	19,40 a	0,018 b	0,015 c	0,020 b	0,030 a
K	23,86 a	21,56 a	25,03 a	24,76 a	0,029 b	0,019 c	0,030 b	0,038 a
Ca	6,30 a	5,16 b	5,30 b	5,33 a	0,008 a	0,005 b	0,006 b	0,008 a
Mg	2,36 a	2,06 a	2,10 a	2,03 a	0,003 b	0,002 b	0,003 b	0,003 a
S	9,70 a	11,16 a	10,10 a	10,23 a	0,012 b	0,010 b	0,012 b	0,016 a
	Teor no sistema radicular (mg kg⁻¹)				Acúmulo no sistema radicular (mg planta⁻¹)			
B	19,33 a	25,66 a	28,33 a	26,66 a	0,023 b	0,022 b	0,036 a	0,041 a
Cu	186,66 b	220,66 b	224,33 b	286,00 a	0,226 c	0,193 c	0,270 b	0,438 a
Fe	6768 c	1047 b	7864 bc	14507 a	8,166 b	9,171 b	9,471 b	22,19 a
Mn	97,00 a	105,33 a	105,33 a	109,33 a	0,117 b	0,092 c	0,128 b	0,168 a
Zn	221,33 a	223,00 a	199,66 a	222,00 a	0,268 b	0,195 c	0,241 b	0,341 a

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

O N e S são elementos envolvidos na formação de compostos orgânicos na planta, enquanto que o Mg é componente da molécula de clorofila, dentre outras funções. O Cu está envolvido no transporte de elétrons e o B é responsável pelo alongamento celular (TAIZ; ZEIGER, 2004). Seus teores semelhantes em ambos os tratamentos indicam que todas as plantas se mantiveram em processo fotossintético adequado e, conseqüentemente em desenvolvimento, mesmo que em ritmos diferentes.

Os maiores teores de P, que possui papel central nas reações que envolvem ATP, do Ca, atua nas reações de hidrólise de ATP, do Mn, envolvido principalmente na evolução do

O₂ e do Zn, componente do grupo de elementos que atuam no transporte de elétrons (TAIZ; ZEIGER, 2004), constatado com a periodicidade de exposição à solução nutritiva de FI, correlatam-se com os maiores ganhos na produção de massa seca por esse tratamento, indicando maior atividade no desenvolvimento, que decresceu a medida que elevou-se o intervalo de ausência de exposição à solução nutritiva.

O K é o principal cátion no estabelecimento do turgor e eletroneutralidade da célula, e o Fe apresenta seu papel na respiração celular (TAIZ; ZEIGER, 2004), desta maneira é de se esperar que as plantas que permaneceram com grandes intervalos em ausência de água, necessitem de maiores teores celulares desses nutrientes.

As altas concentrações de Mn verificadas, acima de 250 mg kg⁻¹, são consideradas altas (JONES JUNIOR et al., 1991). Seu efeito provoca diminuição na absorção de Zn e Fe principalmente (MARSCHNER, 1995), fato visualizado com mais ênfase no tratamento FI, justificando seu menor teor de Zn na parte aérea.

Os teores de nitrato e amônio comportaram-se de maneira inversamente proporcional (Tabela 2), onde os maiores teores de nitrato e menores de amônio foram obtidos no tratamento 15/30, e os menores de nitrato e maiores de amônio no FI, respectivamente. Infere-se, portanto, que houve maior síntese de proteínas com o fluxo ininterrupto de solução nutritiva, o que explica o maior crescimento e massa fresca e seca da alface americana neste tratamento.

O nitrogênio, constituinte de aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos (MALAVOLTA et al., 1997) é fornecido para a planta no sistema hidropônico na forma do íon amônio e nitrato. Contudo, o nitrato deve ser reduzido a nitrito no citoplasma das células vegetais e posteriormente, o nitrito é convertido a amônio nos cloroplastos, em pleno processo fotossintético (FAQUIN; ANDRADE, 2004), entretanto, sob estresse hídrico, mesmo que moderado, a planta apresenta decréscimo na taxa fotossintética (LAWLOR; TEZARA, 2009), favorecendo o acúmulo do nitrato nos tecidos. Dessa forma, pode-se inferir que a maior periodicidade de exposição à solução nutritiva de FI proporcionou maior assimilação de N proveniente do nitrato, o que em partes explica porque as maiores produções de matéria fresca e seca foram obtidas neste tratamento.

Quando analisado o acúmulo dos nutrientes na parte aérea e sistema radicular da alface (Tabela 2), novamente o tratamento FI foi o mais produtivo, pois propiciou os maiores acúmulos para todos nutrientes em parte aérea e raízes, sem exceção. As periodicidades de exposição à solução nutritiva de 15/15 e 15/60 minutos apresentaram, em grande parte, comportamento medianos e o tratamento 15/30, destacou-se com os menores acúmulo de

nutrientes. Estes resultados reforçam que a avaliação de acúmulo de nutrientes tem correlação mais estreita com a produção da cultura em relação aos teores de nutrientes foliares.

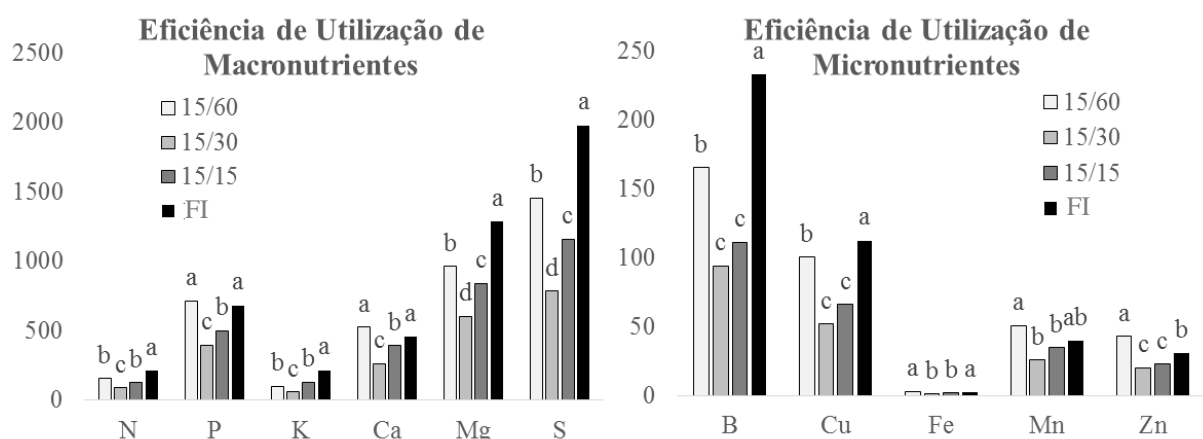
No sistema radicular, os teores de P, Ca, Cu e Fe foram superiores para o tratamento FI, devido à disponibilidade ininterrupta desses elementos via solução nutritiva. Contudo, para maioria dos nutrientes, como N, K, Mg, S, B, Mn e Zn não se constatou diferenças significativas em seus teores em detrimento da periodicidade de exposição à solução nutritiva.

Com relação ao acúmulo de nutrientes no sistema radicular, de maneira geral, verificou-se semelhanças ao acúmulo de nutrientes na parte aérea, evidenciando os tratamentos FI e 15/30 minutos, como maiores e menores acúmulos, respectivamente.

A marcha de absorção de macro e micronutrientes constatada em todos tratamentos assemelharam-se rigorosamente com a ordem estabelecida para obtenção de alta produtividade de alface, sendo esta: $K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > B > Cu$ (FAQUIN et al., 1996). Em relação às concentrações em tecidos foliares, condiz ao verificado em diversas cultivares por Silva (1999), e os resultados foram semelhantemente ao indicado por Raji et al. (1996), como adequados.

O tratamento FI, com a menor periodicidade de exposição à solução nutritiva proporcionou também a maior eficiência de utilização dos nutrientes, com exceção apenas ao Zn que apresentou maior eficiência de utilização no tratamento 15/60 (Figura 6).

Figura 6 – Eficiência de utilização de nutrientes da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes períodos de exposição da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A eficiência de utilização de nutrientes decresceu para a maioria dos nutrientes na seguinte ordem de tratamento 15/60, 15/15 e 15/30 minutos respectivamente, sendo esse último inferior em eficiência de utilização em todos nutrientes.

Economicamente, quando comercializado o maço de alface ao valor médio de R\$2,50, o tratamento FI possibilitou o maior ganho, seguido do 15/60 e do 15/15 minutos, com 128%, 36% e 18% de lucratividade, respectivamente. O tratamento 15/30 não supriu o custo de produção, acarretando prejuízos diretos se aplicado no meio produtivo (Tabela 3).

Em estudo realizado no município de Tijucas, em Santa Catarina, foi verificado custo de produção de R\$ 0,79 centavos por unidade, semelhante ao constatado nesse estudo, apresentando-se superavitário e viável para essa região (ROVER et al., 2014). Em Matão, estado de São Paulo, Leite et al. (2016) estimou receita líquida de R\$ 0,40 por planta de alface hidropônico, e ainda assim viabilizando o negócio para agricultura familiar. Portanto, a receita líquida obtida na presente pesquisa o para tratamento FI, com a menor periodicidade de exposição à solução nutritiva foi muito superior (R\$ 1,63).

Tabela 3 – Custo de produção, receita bruta e receita líquida por planta de alface hidropônica sob diferentes períodos de exposição da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	15/60		15/30		15/15		FI	
	R\$	%	R\$	%	R\$	%	R\$	%
Custo de produção (A)								
Mão-de-Obra ²	0,26	42%	0,26	40%	0,26	37%	0,26	30%
Energia elétrica ³	0,03	5%	0,07	11%	0,13	18%	0,26	30%
Adubo ⁴	0,08	14%	0,07	11%	0,08	11%	0,11	13%
Água ⁵	0,03	5%	0,03	5%	0,03	4%	0,03	3%
Mudas ⁶	0,07	11%	0,07	11%	0,07	10%	0,07	8%
Defensivos ⁷	0,04	7%	0,04	6%	0,04	6%	0,04	5%
Custo fixo da instalação ⁸	0,10	16%	0,10	16%	0,10	14%	0,10	11%
Subtotal	0,61		0,64		0,71		0,87	
Receita Bruta (B)								
Nº de plantas por Maço ⁹	3	33%	4	25%	3	33%	1	100%
Subtotal	0,83		0,63		0,83		2,50	
Receita Líquida (A – B)								
	0,22		- 0,01		0,12		1,63	
Benefício-custo	136%		97%		118%		287%	

¹Tempo de exposição da solução nutritiva (Ciclo fluxo/descanso) submetidas a um duto de PVC retangular, com vazão de 1 litro por minuto, sete metros de comprimento e inclinação de 10%; ²Custo de mão-de-obra total do estabelecimento durante o ciclo de produção, individualizado por planta; ³Custo de energia elétrica considerado a crescente capacidade de bombeamento a medida que as vazões decrescem); ⁴Custo da solução nutritiva consumida no ciclo de produção; ⁵Custo de água consumida durante o ciclo de produção; ⁶Custo total da muda de alface em espuma fenólica incluindo a condução em berçário; ⁷Custo de aplicação de Difenconazol e Casugamicina; ⁸Custo atribuído a locação de uma casa de vegetação equipada para hidroponia; ⁹Quantidade de plantas necessárias para a composição de um maço comercial ao valor de mercado atacado de R\$2,50.

3.4 CONCLUSÕES

A periodicidade de exposição da solução nutritiva em sistemas hidropônicos para produção de alface americana influencia no desempenho técnico e econômico da cultura.

A maior produção e lucratividade de alface americana foi obtida com fluxo contínuo da solução nutritiva (FI), devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes, maior assimilação de nitrato e eficiência de utilização de nutrientes.

Economicamente, a condução em intervalo 15/30 minutos nas condições estudadas, não supre o custo de produção e acarreta prejuízo financeiro ao produtor.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 142 p.
- CARON, B. O.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; SCHMIDT, D.; POMMER, S. F.; BIANCHI, C. Eficiência de conversão da radiação solar fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 11, n. 2, p. 261-268, 2003.
- CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SANTOS, O. S.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; NOGUEIRA FILHO, H. Desempenho de onze cultivares de alface em duas formas diferentes de canais de cultivo, no sistema hidropônico. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 10, n. 1, p. 25-33, 2003.
- COOPER, A. **The ABC of NFT**. Narrabeen: Casper Publications, 1996. 171 p.
- DA LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; BORCIONI, E.; MÜLLER, L.; DO AMARAL, A. D. ; MORAIS, K. P. Consumo de energia elétrica e produção de alface hidropônica com três intervalos entre irrigações. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 815-818, 2008.
- FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- FAQUIN, V.; FURLANI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 50 p.
- JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook, a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Georgia: Micro-macro, 1991. p. 35-38.
- LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 561-579, 2009.
- LEITE, D.; MIGLIAVACCA, R. A.; MOREIRA, L. A.; ALBRECHT, A. J. P.; FAUSTO, D. A. Viabilidade econômica da implantação do sistema hidropônico para alface com recursos do PRONAF em Matão-SP. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 57-65, 2016
- LONDERO, F. A. A.; AITA, A. Comercialização de alface hidropônica. In: SANTOS, O. **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. p. 145-152.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MATSUNAGA, M. B.; TOLEDO, P.F. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: Funep, 2016. 600 p.

PUGLIESI, N. L. **Capacidade de retenção e frequência de aplicação de solução nutritiva ao sistema radicular da alface em cultivo hidropônico (NFT)**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1996. 285 p.

ROVER, S.; BARCELOS-OLIVEIRA, J. L.; DA PENHA TEIXEIRA, M. Viabilidade econômica da implantação de um sistema de cultivo de alface hidropônica em Tijucas-Santa Catarina. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 2, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROPONIA, 3, 2014, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2014. p. 93.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

STAFF, H. **Hidroponia**. 2. ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 101 p. (Coleção Agroindústria, 11).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER E. **Plant physiology**. Massachusetts: Sinauer, 1998. 792 p.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 95p. (Boletim Técnico, 5).

TRANI, P.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 157-164. (Boletim técnico, 100).

CAPITULO 4 – NUTRIÇÃO E PRODUÇÃO ECONÔMICA DE ALFACE AMERICANA EM FUNÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

A condutividade elétrica em solução nutritiva em sistemas hidropônicos apresenta seu principal efeito na interface Nutrientes - Água - Planta, estando diretamente ligada ao desempenho da cultura. Dessa forma, o objetivo foi avaliar o efeito de diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT, na nutrição e a produção econômica de alface americana. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram quatro tratamentos com valores de condutividade elétrica da solução. Cada tratamento continha 5 repetições com 32 plantas de alface americana. Sendo amostradas 8 plantas aos 10, 17, 24 e 31 dias após o transplante. A vazão utilizada foi de 1 L minuto e o período de exposição da solução nutritiva com fluxo contínuo. A condutividade elétrica da solução nutritiva em sistemas hidropônicos para produção de alface americana altera o desempenho técnico e econômico da cultura. A maior produção e lucratividade de alface americana foi obtida com condutividade de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes, bem como pela maior eficiência de utilização de nutrientes. Economicamente, a condutividade elétrica de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ não supre o custo de produção e acarreta prejuízo financeiro ao produtor.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L.. Concentração de nutrientes foliar. Diagnóstico foliar. Lucratividade. Sistema hidropônico NFT. Salinidade.

NUTRITION AND ECONOMIC PRODUCTION OF AMERICAN LETTUCE IN FUNCTION OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE NUTRITIVE SOLUTION

ABSTRACT

The electrical conductivity in nutrient solution in hydroponic systems presents its main effect in the interface Soil - Water - Plant, being directly linked to the performance of the crop. Thus, the objective was to evaluate the effect of different electrical solutions of the nutrient solution in the hydroponic NFT system, in the nutrition and in the economic production of the American lettuce. The experimental design in randomized blocks, with five replicates. The treatments were four treatments with different electrical conduction values of the solution. Each treatment continues 5 replicates with 32 lettuce plants pertaining to American lettuce. Eight plants were sampled at 10, 17, 24 and 31 days after transplanting. The flow rate used for 1 L m^{-1} and the exposure period of the nutrient solution and continuous flu. The electrical conductivity of the nutrient solution in hydroponic systems for the production of alternative materials for the technical and economic market of the crop. Greater yield and yield of American lettuce was obtained with conductivity of 1.8 dS m^{-1} , due to the higher volume of nutrients in shoot and root and nutrient use efficiency. Economically, a conduction salinity of 2.3 dS m^{-1} under the conditions studied, is not supreme of cost of production and entails financial loss.

Keywords: *Lactuca sativa* L.. Foliar nutrients concentration. Foliar diagnosis. Profitability. NFT hydroponic system. Salinity.

4.1 INTRODUÇÃO

No sistema hidropônico, a solução nutritiva assume o principal e múltiplo papel nas interações nutrientes – água - planta, sendo responsável pelo adequado suprimento de água, oxigênio e nutrientes à planta. Em condição de excesso na concentração salina da solução ocorrem problemas para planta obter o adequado suprimento de água (TAIZ; ZEIGER, 2004), prejudicando o fluxo de água na planta, o controle térmico e a absorção de nutrientes, preferencialmente após o contato íon/raiz por fluxo de massa (MALAVOLTA, 1980).

Em condições de elevada salinidade, o tecido radicular apresenta danos pela exposição, podendo em altos valores de condutividade elétrica, haver necrose, principalmente do tecido recém formado e mais hábil no processo de absorção radicular (GONDIM et al., 2010). Neste caso, os elementos que são absorvidos, após o contato por interceptação terão seus teores minimizados nos tecidos (MALAVOLTA, 1980). Os nutrientes absorvidos após o contato íon/raiz por difusão também alteram o equilíbrio da nutrição no sistema radicular, resultando em acúmulos além do necessário, ou seja, uma tarefa extra à planta em administrar esse excesso desnecessário.

Por outro lado, reduções drásticas na salinidade da solução nutritiva podem acarretar deficiências nutricionais na planta pela baixa quantidade de nutrientes absorvidos do volume de água (KNIGHT; MITCHELL, 1983).

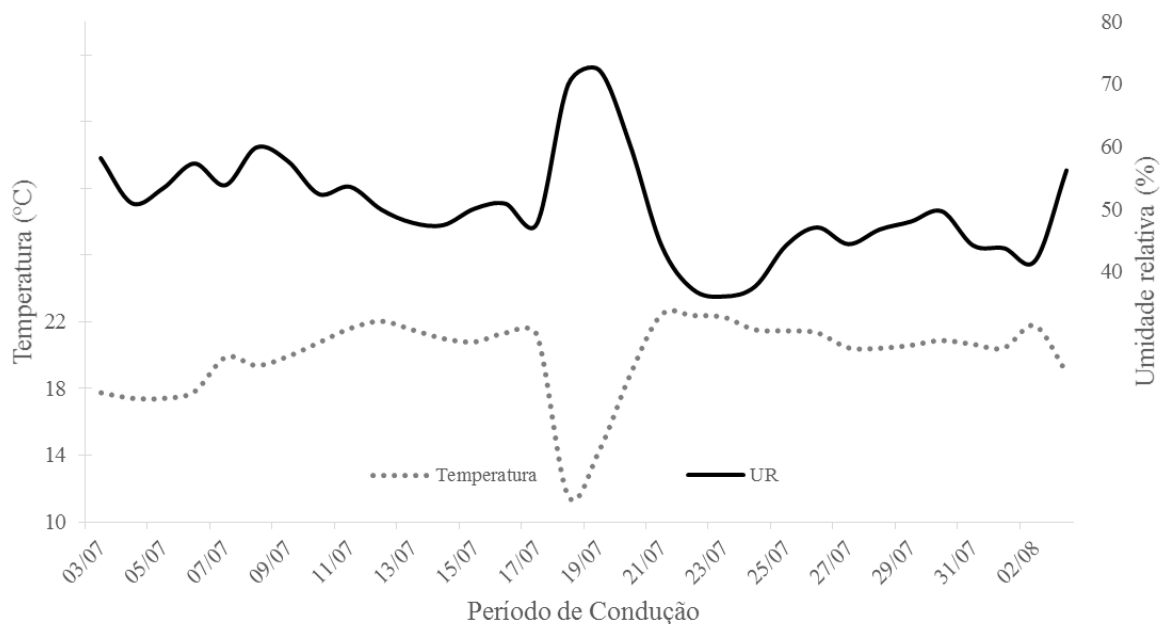
A condutividade elétrica tem sido recomendada em sistema NFT pra alface na faixa de 1,5 e 2,5 dS m⁻¹ (CASTELLANE; ARAÚJO, 1995), e em alguns casos, em instalações comerciais, é rotineiro a variação da condutividade juntamente com a evolução do crescimento da planta. Contudo, estudos nesta área tem constatado produção satisfatória em valores inferiores de condutividade (COMETTI et al., 2008), justificando a importância de maiores estudos condutividade elétrica nas diversas condições climáticas e no grande número de cultivares presentes no mercado.

O objetivo desta pesquisa foi determinar os valores de condutividade elétrica mais indicados durante o ciclo da alface americana cultivada em sistema hidropônico NFT, analisando a nutrição, produção de matéria fresca e seca da planta e lucratividade ao produtor.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Em uma instalação comercial coberta com tela vermelha, com 25% de sombreamento, no município de Aparecida do Taboado - MS (-20° 3' 58", -51° 10' 54") foi realizada a pesquisa entre julho e agosto de 2017. O clima no período do experimento apresentou temperaturas que oscilaram de 11,5 a 22,4 °C e umidade relativa do ar entre 36 e 72% (Figura 1).

Figura 1 – Temperatura e umidade relativa durante a condução da pesquisa. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



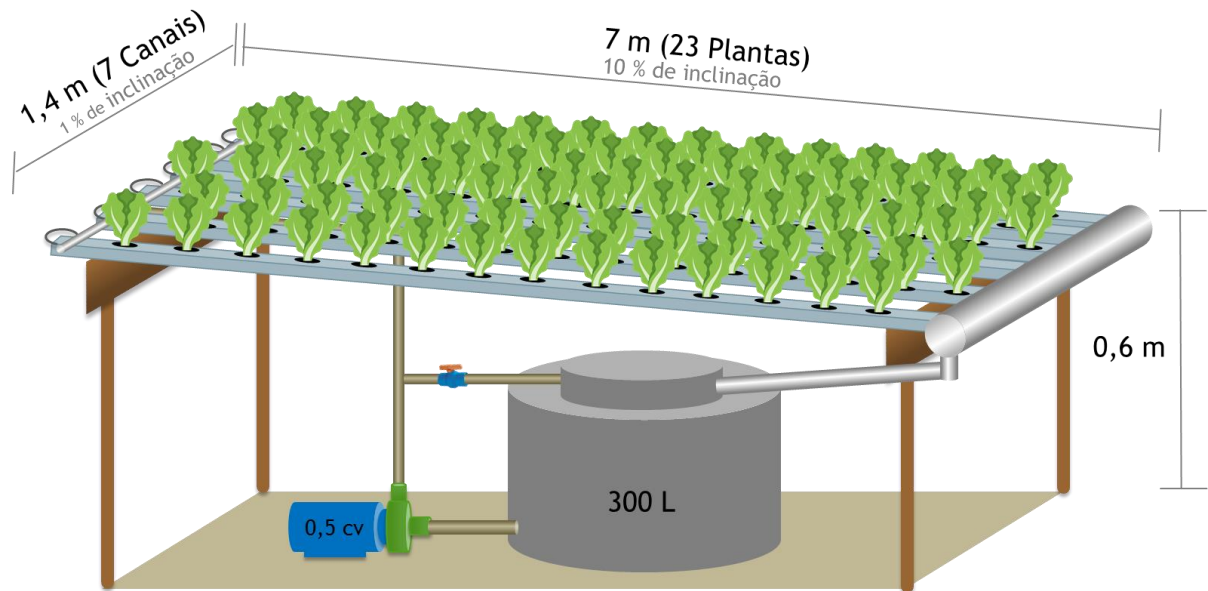
Fonte: Dados do Autor

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os tratamentos foram a manutenção diária da solução nutritiva em quatro valores de condutividade elétrica, de 0,8; 1,3; 1,8 e 2,3 dS m⁻¹, em função da concentração de nutrientes. Cada tratamento continha 8 plantas de alface americana.

As unidades experimentais foram instaladas em bancadas individuais, de sete metros de comprimento e declividade de 10%. Os canais de cultivos foram instalados em perfil de PVC com seção retangular, de 8 centímetros de largura e 4 centímetros de altura, com perfurações superiores para alojamentos das plantas a cada 25 centímetros. Cada bancada contou com 7 canais de cultivos espaçados em 20 centímetros, com sistema de bombeamento

individual, e um reservatório de 310 litros, mantido ao mínimo de 95% de sua capacidade (Figura 2).

Figura 2 – Esquema da bancada de condução do experimento. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor

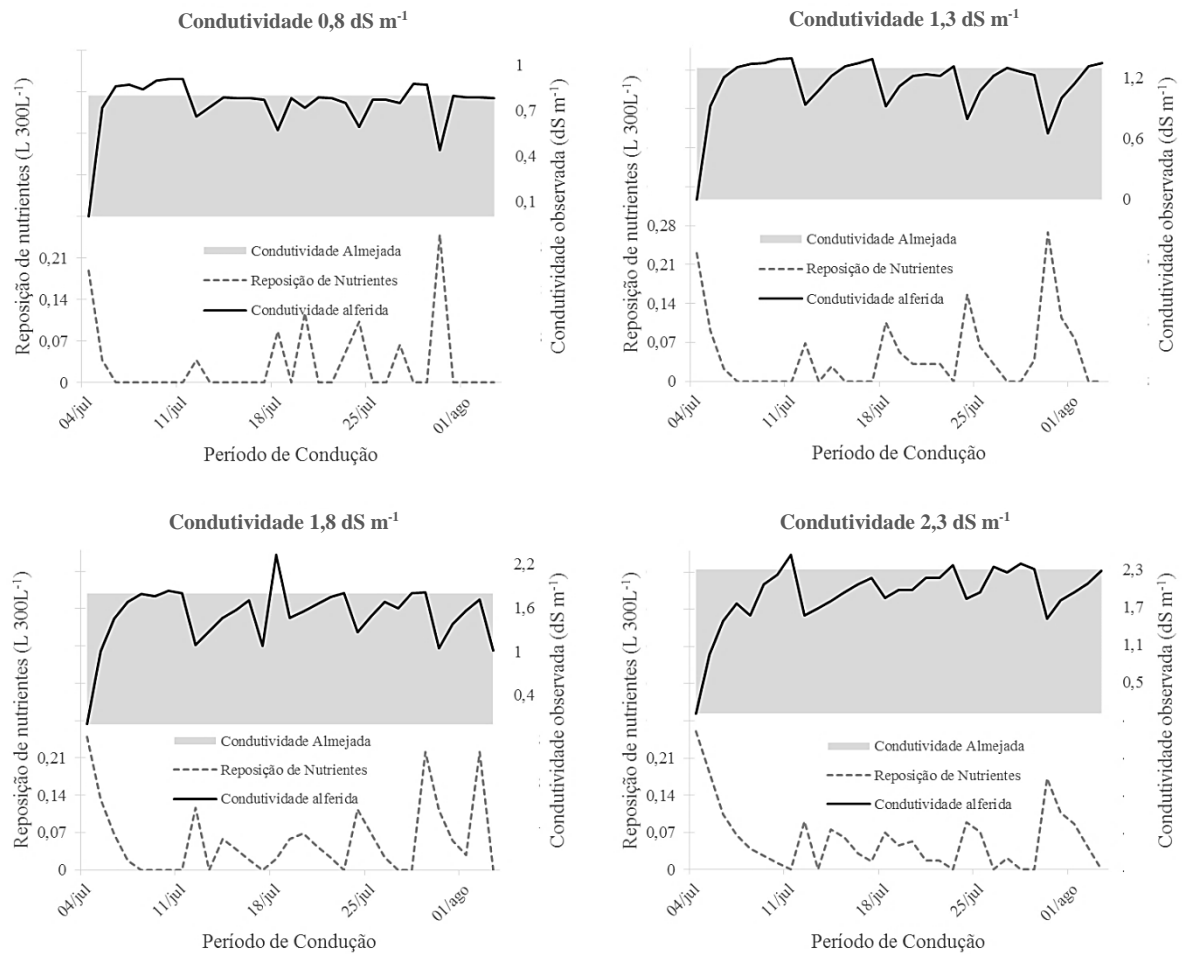
A cultivar de alface utilizada foi a Betty do tipo americana, caracterizada pelo grande porte, alto volume de folhas largas e grossas que conferem boa proteção à cabeça, além de apresentar satisfatória tolerância ao pendoamento precoce. Seu ciclo médio quando cultivado em solo é de 70 dias, porém apresenta precocidade em sistemas hidropônicos e sua população ideal gira em torno de 80 a 160 mil plantas por hectare.

As mudas foram produzidas em espuma fenólica e permaneceram 12 dias em berçário, após esse período foram transplantadas às bancadas definitivas e permaneceram nesta por até 31 dias, ao final do ciclo.

Após o transplante para as bancadas, a solução nutritiva foi bombeada em circuito fechado, sob vazão de um litro por minuto em cada canal de cultivo e em fluxo contínuo. Utilizou-se a solução nutritiva composta pelos fertilizantes concentrados Plenar Ferti PM1[®] e Plenar Ferti PM2[®] (com densidades 1,23 g ml⁻¹) produzida pela Plenar em todas as fases de desenvolvimento da cultura, a qual continha as seguintes concentrações de nutrientes em g L⁻¹: 77,65 de N; 15,95 de P; 75,26 de K; 23,39 de S; 41,60 de Ca; 17,82 de Mg; 0,27 de B; 0,08 de Cu; 1,09 de Fe; 0,29 de Mn; 0,05 de Mo; 0,06 de Ni e 0,11 de Zn. A aferição e correção de condutividade ocorreu todas as manhãs, ocasião esta em que a condutividade pontual foi

mensurada e procedida a reposição da solução nutritiva ao valor de condutividade elétrica tabulado para cada tratamento (Figura 3). O pH da solução também foi monitorado diariamente e permaneceu entre 5,5 e 6,0, não necessitando de intervenção.

Figura 3 – Condutividade mensurada e volume de reposição de nutrientes na cultura de alface hidropônico sob diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

As coletas foram realizadas aos 10, 17, 24 e 31 dias após o transplante (DAT), finalizando o ciclo com acúmulo térmico de 319,51 graus-dias, sendo que em cada uma das ocasiões foram avaliadas as massas frescas do sistema radicular, da parte aérea e total das 8 plantas de alface. Em seguida procedeu-se a secagem do material vegetal em estufa de ventilação de ar forçado a 60 °C por 72 horas, posteriormente, obteve-se as massas secas do sistema radicular, da parte aérea e total destas plantas.

Após a secagem, pesagem e moagem destes materiais vegetais em moinho tipo Wiley, foram determinados de acordo com metodologia de Malavolta et al. (1997), os teores de N, P,

K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea, raízes e na última colheita também na folha diagnose da alfaca (folhas recém desenvolvidas, conforme descrito por Trani e Rajj (1997)). Os acúmulos de nutrientes na parte aérea e raízes das plantas foram calculados com base nas respectivas massas secas e nos teores dos nutrientes supracitados.

A eficiência de utilização de nutrientes (EUN) para cada tratamento foi calculada pela expressão: $EUN = (\text{massa seca total da planta})^2 / (\text{acúmulo total do nutriente na planta})$; em (g de MS)² / g do nutriente acumulado (SIDDIQI; GLASS, 1981).

No momento de cada colheita foram coletadas também amostras da solução nutritiva de cada tratamento, e após analisado por metodologia adaptada de Malavolta et al. (1997), foi discriminado o comportamento dos nutrientes durante a condução do experimento, uma vez que a correção diária de condutividade elétrica é uma medida indireta de todos íons presentes, não indicando a real proporção de cada nutriente no tanque.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e inicialmente a análise de regressão polinomial, porém em função da obtenção de ajustes a equações com baixo coeficiente de determinação (R^2), e tendo em vista a necessidade prática de discriminar a condutividade elétrica que agregou o maior número das variáveis estudadas em posição de interesse produtivo, e não o resultado individual para a condutividade elétrica ótima de cada variável, optou-se por comparar as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para análise estatística foi utilizado o programa SISVAR.

Procedeu-se também análise econômica, com o cálculo do custo de produção de acordo com metodologia adaptada a proposta por Matsunaga et al. (1976), considerando variável apenas o desembolso direto, agrupando o investimento, depreciação e custo de oportunidade do capital investido em um único componente de custo fixo da instalação, tendo como vista, uma estrutura locada com custo fixo.

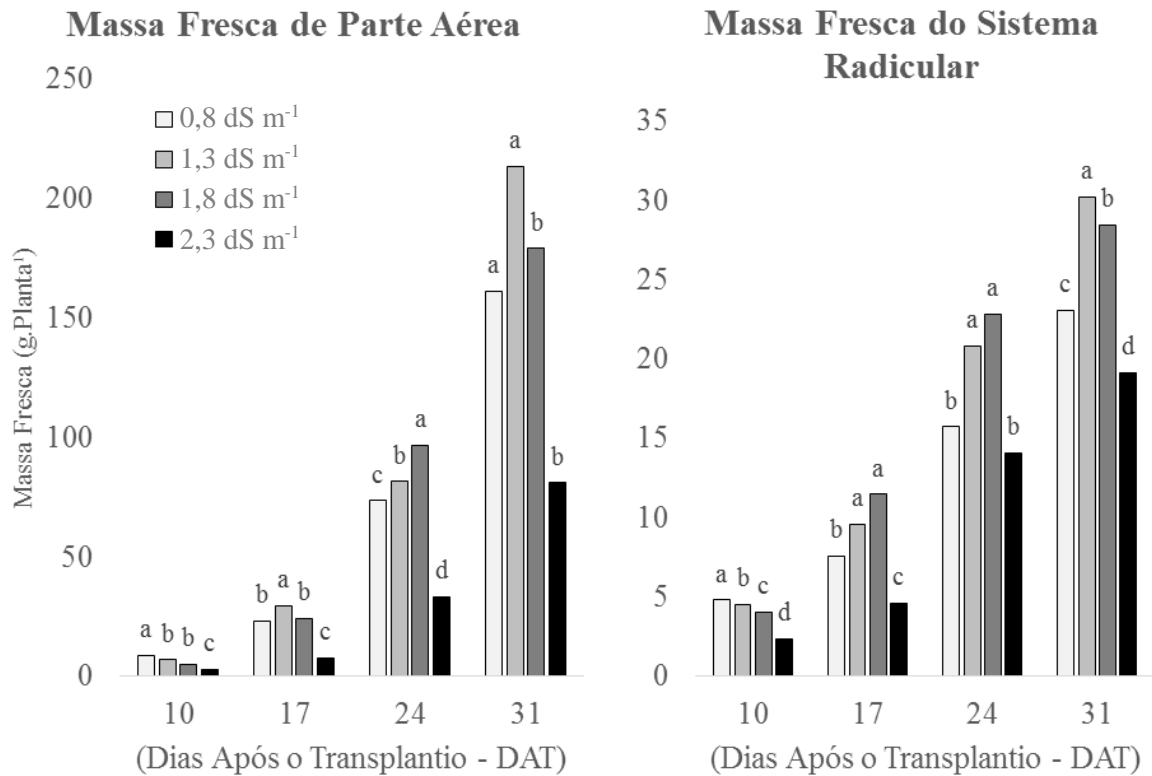
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As alfases americanas cultivadas sob condutividade elétrica da solução nutritiva em 0,8 dS m⁻¹ obtiveram maior produção de massa fresca de parte aérea e raízes aos 10 DAT (Figura 4). Neste período o incremento da condutividade elétrica reduziu linearmente a massa fresca e seca de parte aérea e raízes.

Aos 17 DAT, notou-se superior produção de fitomassa aérea e raízes avançando para a segunda faixa de condutividade (1,3 dS m⁻¹), embora a massa fresca de raízes não diferiu na

condutividade de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ (Figura 4). Aos 24 dias, o comportamento se repetiu, alternado à faixa de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, e aos 31 DAT regressou novamente a faixa de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$.

Figura 4 – Massa fresca de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

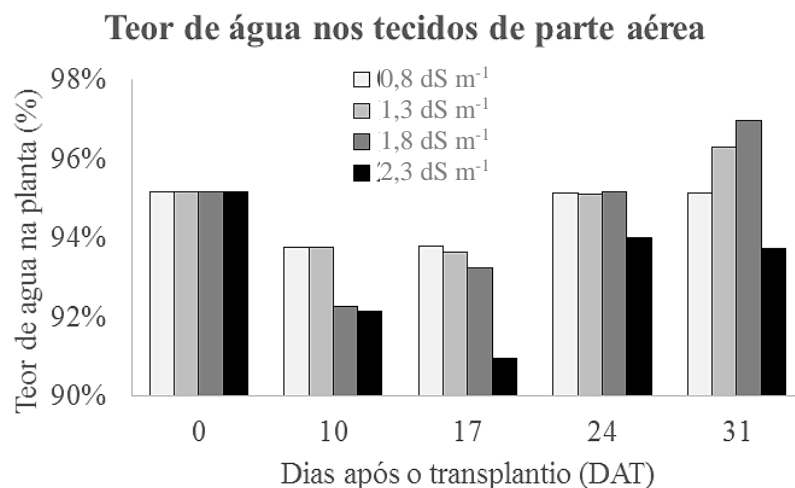
Para o incremento de matéria fresca e seca após o transplântio das mudas de alface é necessária grande absorção de água, uma vez que essa é a principal constituinte da alface, atingindo até 97% de sua composição. Não obstante, é necessária menor quantidade de soluto na solução nutritiva, em relação às demais avaliações mais tardias, para o adequado desenvolvimento da planta. Assim, houve maior acúmulo de água nos tratamentos com menor condutividade elétrica (Figura 5), ou seja, menor teor de soluto na solução nutritiva (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Aos 17 e 24 DAT pelo intenso crescimento da planta, em que a principal atividade realizada na planta é a multiplicação e alongamento celular, há grande demanda de nutrientes responsáveis pela fotossíntese e estrutura da célula (PRADO; CECILIO FILHO, 2016), nos quais grande parte entram em contato com a raiz por fluxo de massa (MALAVOLTA, 1980).

Desta maneira, a planta passa a apresentar maior crescimento de parte aérea e radicular com solução nutritiva um pouco mais concentrada, tal como a de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ e $1,8 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente (Figura 4). Aos 24 DAT, o teor de água na planta atinge valores semelhantes às condutividades inferiores, confirmando o adequado potencial hídrico na planta sob solução nutritiva mais concentrada (Figura 5).

Comportamento semelhante foi relatado em experimento em NFT com alface realizado em Serropedica - RJ, utilizando solução proposta por Furlani (1997), variando a condutividade entre $0,29$ e $1,84 \text{ dS m}^{-1}$, obteve-se incremento de fitomassa a medida que se elevou a condutividade elétrica da solução nutritiva (COMETTI et al, 2008). Contudo, pode ocorrer decréscimo de produção de fitomassa quando a condutividade atinge 4 dS m^{-1} , perdendo o caráter comercial por efeito de queima das bordas foliares (Tip Burn) (GONDIM, 2010). Contudo, em alface baby leaf verificou-se maior produção de fitomassa fresca e seca com condutividade elétrica em torno de $1,2$ a $1,6 \text{ dS m}^{-1}$ (CALORI, 2013)

Figura 5 – Teor de água nos tecidos de parte aérea de alface americana sob exposição a solução nutritiva com diferentes valores de condutividade elétrica. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



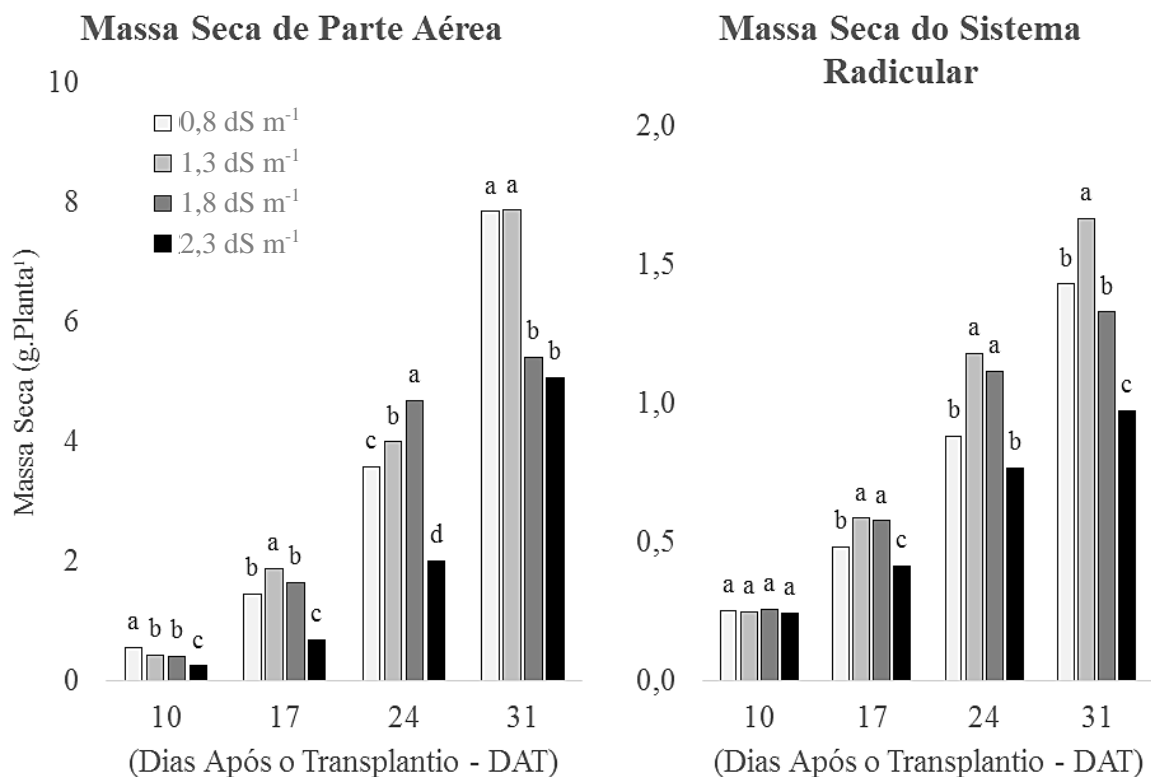
Fonte: Dados da pesquisa do autor

No final do ciclo produtivo, aos 31 DAT, a planta prepara-se para suprir as demandas do seu ciclo reprodutivo, acumulando carboidratos, com o intuito de desencadear diversas atividades enzimáticas envolvidas na diferenciação de meristema e demais atividades reprodutivas. Nesta etapa, com elevados teores de nutrientes nos tecidos, a absorção de água

para a manutenção hídrica da planta volta a ter maior importância, permitindo melhor desempenho a uma condutividade inferior aos 24 DAT (Figura 4) (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A produção de matéria seca de parte aérea e raízes da alface americana apresentaram comportamento semelhante aos da matéria fresca (Figura 6), corroborando com a hipótese sugerida para explicação das diferentes variações das condutividades elétricas mais indicadas para obtenção das maiores matérias frescas desta hortaliça.

Figura 6 – Massa seca da parte aérea e raízes de alface americana conduzida em sistema hidropônico sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

De maneira geral, a condutividade em 2,3 dS m⁻¹ apresentou resultados insatisfatórios em todas as épocas de amostragem, deixando evidente, tanto na produção de fitomassa fresca, quanto seca de parte aérea ou raízes, que concentrações elevadas de sais na solução nutritiva não são interessantes. Em variados momentos do desenvolvimento, as plantas de alface que estavam sob esse valor de condutividade apresentaram sintomas de deficiências de nutrientes generalizadas, efeito possivelmente ocasionado pelo excesso de íons absorvidos em relação ao ajustamento osmótico da planta (FLOWER; YEO, 1986).

O conteúdo de água na planta também apresentou menor volume para o valor de condutividade de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$, sugerindo dificuldade na absorção de água em solução tão concentrada. Como efeito adverso, a planta passa a desenvolver sintomas de estresse hídrico sob uma solução líquida, ocorrendo redução no desenvolvimento celular, redução da expansão das folhas, no fechamento estomático, redução na translocação de assimilados e aceleração da senescência e da abscisão das folhas (McCREE; FERNÁNDEZ, 1989; TAIZ; ZEIGER, 2004).

A redução do turgor celular está diretamente relacionada aos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese. Uma vez iniciado o primórdio foliar, o tamanho final atingido é determinado pelo índice de duração da divisão e expansão celular (PETRY, 1991). Desta forma, de uma maneira cíclica, a elevada concentração da solução nutritiva possibilita menor absorção de água e nutrientes, resultando em menor desenvolvimento, que por sua vez, reduz a demanda hídrica e nutricional, finalizando por prejudicar drasticamente a produção.

Resultado semelhante foi obtido em Viçosa, com alface lisa cv. Basil 303 e solução nutritiva de Martinez e Silva Filho (2006), com condutividades de $0,5$ a 4 dS m^{-1} , onde o maior desenvolvimento ocorreu com condutividades próximas de $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ e decresceu ao aproximar de 4 dS m^{-1} (GONDIN et al., 2010). Cometti et al. (2008) também relataram ganhos significativos na massa seca de alface cv. Vera cultivada em sistema hidropônico NFT com condutividade elétrica entre $0,98$ e $1,84 \text{ dS m}^{-1}$ da solução de Furlani (1997) sobre os cultivados com $0,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Analisando os teores de nutrientes na folha diagnose, com base nas faixas de suficiência proposto por Trani e Raij (1997), verificou-se para todos os tratamentos que os teores dos micronutrientes catiônicos foliares estavam inadequados, ou seja, acima da faixa recomendada (Tabela 1). Notou-se também teores de K, Ca e Mg deficientes na alface cultivada com a maior condutividade elétrica testada, o que em partes explica os resultados inferiores de massa fresca e seca obtidos para este tratamento.

Tabela 1 – Interpretação dos teores de nutrientes na folha diagnose da alface americana sob sistema hidropônico com diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	0,8 dS m ⁻¹		1,3 dS m ⁻¹		1,8 dS m ⁻¹		2,3 dS m ⁻¹	
	Teor foliar	%	Teor foliar	%	Teor foliar	%	Teor foliar	%
N	35,86 L	27%	43,03 A	33%	43,19 A	33%	46,95 A	38%
P	9,24H	7%	6,97 A	5%	8,08H	6%	7,68H	6%
K	61,28 A	46%	64,21 A	50%	60,89 A	47%	56,04 L	45%
Ca	16,8 A	13%	7,63 L	6%	9,47 L	7%	6,52 L	5%
Mg	6,62H	5%	5,11 A	4%	5,24 A	4%	4,19 L	3%
S	2,65H	2%	2,21 A	2%	2,46 A	2%	2,39 A	2%
B	49,7 A	0,04%	33,9 A	0,03%	80,42H	0,06%	47,63 A	0,04%
Cu	44,33H	0,03%	23,67H	0,02%	28H	0,02%	36,67H	0,03%
Fe	665 H	0,50%	173,33 H	0,13%	231 H	0,18%	188,67 H	0,11%
Mn	187,33 H	0,14%	158,33 H	0,12%	233,33 H	0,18%	168,67H	0,14%
Zn	181 H	0,14%	110 H	0,08%	232,33 H	0,18%	213 H	0,17%

Teores de nutrientes da folha diagnose de alface, interpretado com base em dados obtidos por Trani e Raij (1997), apontados como alto (H), adequado (A) e baixo (L).

¹ vazões submetidas a um duto de PVC retangular, com fluxo contínuo, sete metros de comprimento e inclinação de 10%.

O tratamento com maior número de nutrientes em teores adequados foi a condutividade de 1,3 dS m⁻¹, seguido de 1,8 e 0,8 dS m⁻¹ e com menor número a de 2,3 dS m⁻¹. Grande parte dos nutrientes ficaram com teores adequados nas condutividades 0,8 e 1,3 dS m⁻¹ e alto principalmente em 2,3 dS m⁻¹, sendo mais pronunciado nos nutriente absorvidos em maior proporção após o contato íon/raiz por fluxo de massa, como N, Mg, S e B, além do Cu e Mn (MALAVOLTA, 1980), transportados juntamente com a demanda de água pela planta, desta forma, quanto mais concentrada a solução, maior a absorção do nutriente.

O teor de N estava abaixo do recomendado (FAQUIN et al., 1996; RAIJ et al, 1997) nas plantas submetidas a condutividade elétrica de 0,8 dS m⁻¹. Teores semelhantes foram obtidos em cultivo de alface lisa Brasil 303 em condutividade elétrica semelhante (GONDIN et al., 2010).

O teor de P apresentou-se alto em condutividade de 0,8 e 1,8 e 2,3 dS m⁻¹, e adequado apenas em 1,3 dS m⁻¹. A elevação da condutividade também proporcionou incremento nos teores de fósforo em experimento em Viçosa (GONDIN et al., 2010), contudo, em testes com vários genótipos, a maior absorção de fósforo não resultou em maior ganho de matéria seca (COCK et al., 2003). Valores semelhantes ao obtidos também foram encontrados por Cometti et al. (2008), testando variações na força iônica da solução nutritiva.

O teor de K estava adequado para todos tratamentos (FAQUIN et al., 1996; RAIJ et al., 1997), semelhantemente ao encontrado por Gondin et al., (2010) e Viana et al. (2004), constatado como nutriente mais acumulado pela alface.

Para os teores de Ca foi constatado teor adequado apenas a condutividade de 0,8 dS m⁻¹ (FAQUIN et al., 1996; RAIJ et al., 1997), sendo os demais abaixo da concentração necessária para uma satisfatória produtividade. Esse decréscimo nos teores de Ca a medida que se eleva a condutividade da solução nutritiva também foi constatado em alface cv. Brasil 303, decrescendo inversamente proporcional em condutividades de 1 a 4 dS m⁻¹ (GONDIN et al., 2010).

Em cultivo de alface cv. Coolguard, sob baixas condutividades elétricas na solução nutritiva foi evidenciado sintomas de deficiência de nitrogênio e potássio, e altos teores de cálcio nas folhas novas, invertendo o quadro à medida que a condutividade da solução foi elevado (HUETT, 1994).

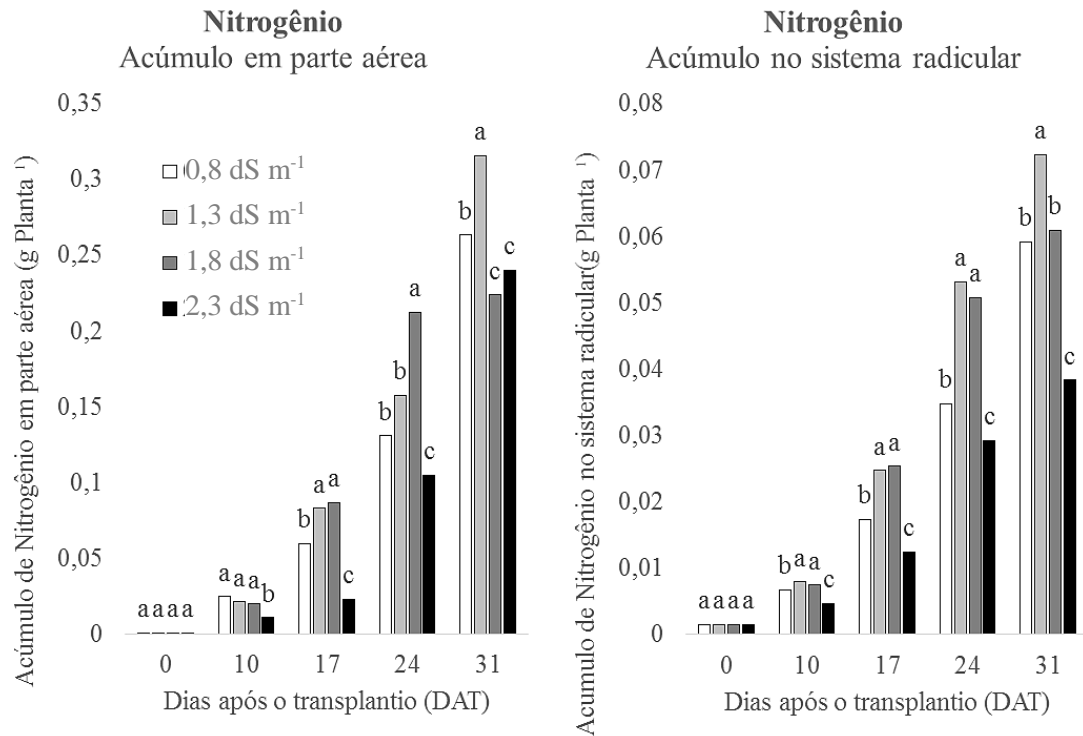
O teor de Mg foliar decresceu à medida que se elevou a condutividade da solução nutritiva, passando de alto, adequado a baixo, fato também constatado por Gondin et al. (2010), e com teores abaixo do recomendado por Raij et al. (1997). O teor de S foliar também decresceu ao se elevar a condutividade, porém manteve-se em teores adequados na folha de alface (FAQUIN et al., 1996; RAIJ et al., 1997).

Dos teores de micronutrientes foliar, apenas o boro manteve-se em valores adequados para alface na maioria dos tratamentos, segundo Faquin et al. (1996). O cobre, ferro, manganês e zinco mantiveram seus teores altos para todos tratamentos. Isto indica que estes micronutrientes estavam em concentrações relativamente altas na solução nutritiva comercial utilizada na presente pesquisa.

Os tratamentos estudados apresentaram a seguinte ordem de concentração dos macronutrientes: K>N>Ca>P>Mg>S e para os micronutrientes de Fe>Zn>Mn>B>Cu (Tabela 1), sequências estas, semelhantes ao relatado como adequado para uma alta produtividade de alface (FAQUIN et al., 1996).

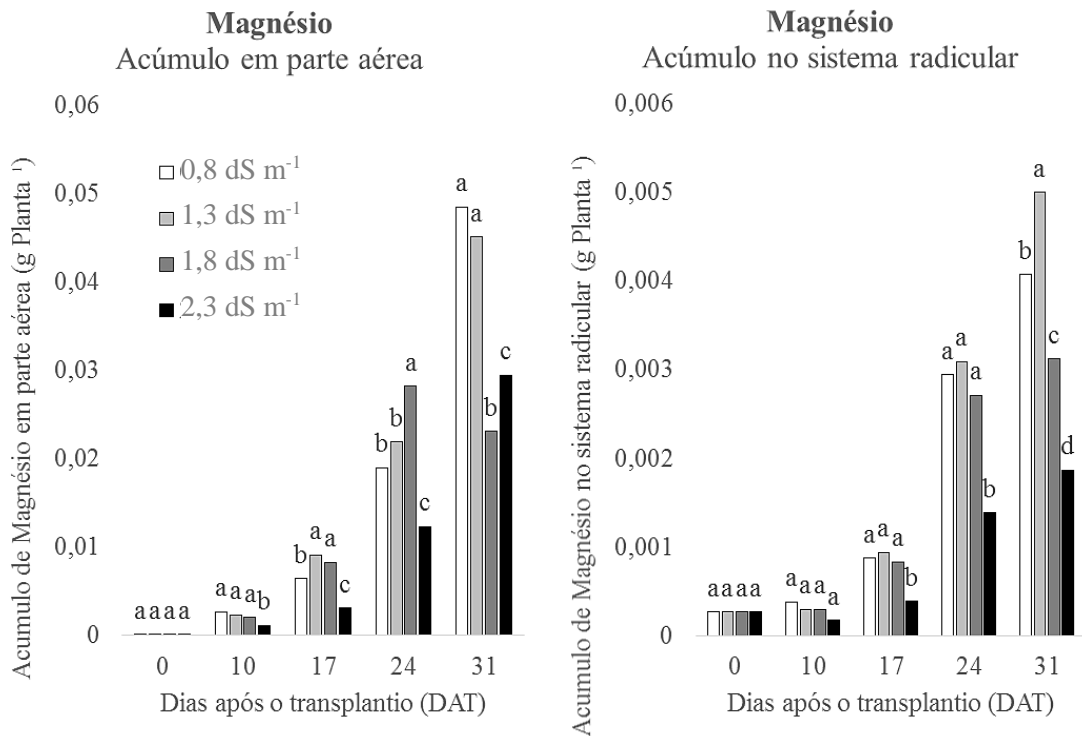
O acúmulo dos nutrientes na parte aérea e raízes, absorvidos preferencialmente após o contato íon/raiz por fluxo de massa, como o nitrogênio (Figura 7), magnésio (Figura 8), enxofre (Figura 9), boro (Figura 10), cobre (Figura 11), manganês (Figura 12) e zinco (Figura 13), acompanhou a tendência apresentada para produção de matéria fresca e seca da alface, alcançando seus melhores resultados progressivamente, em condutividades crescentes e por fim decrescente na última semana.

Figura 7 – Acúmulo de nitrogênio nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



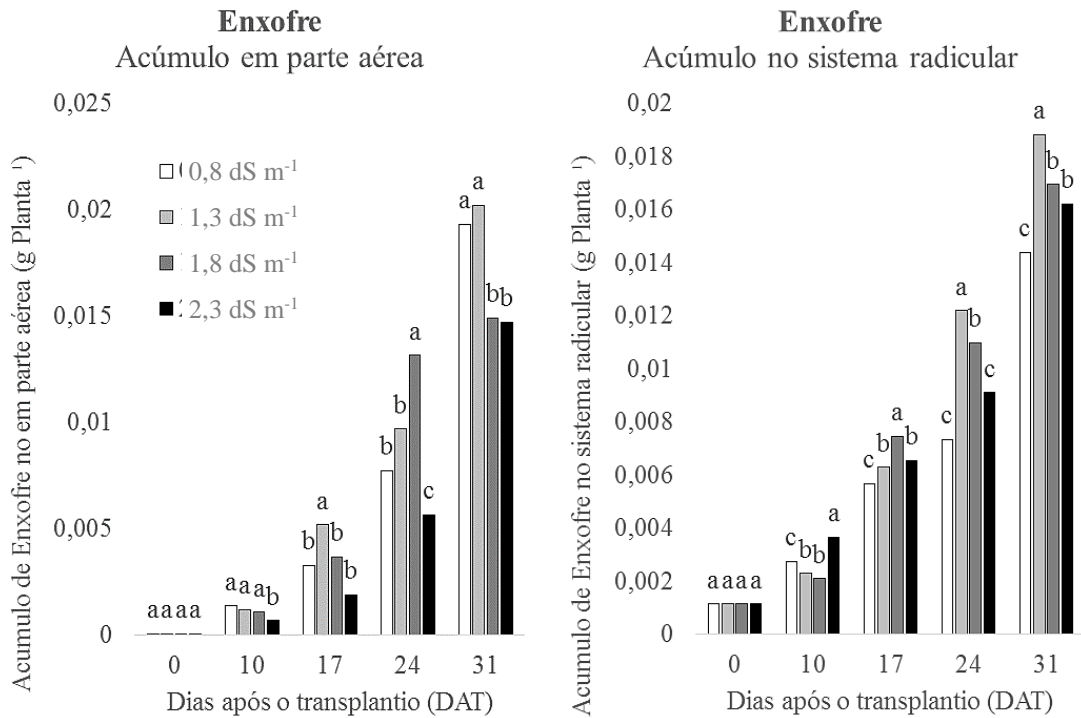
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 8 – Acúmulo de magnésio nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



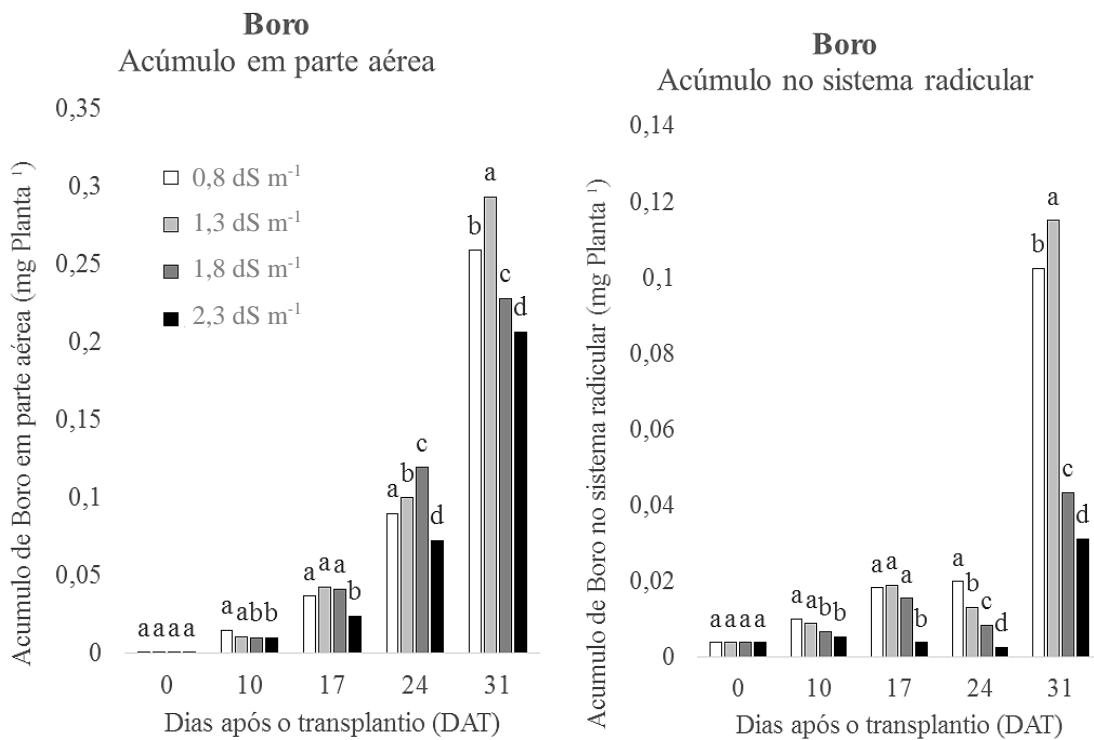
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 9 – Acúmulo de enxofre nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



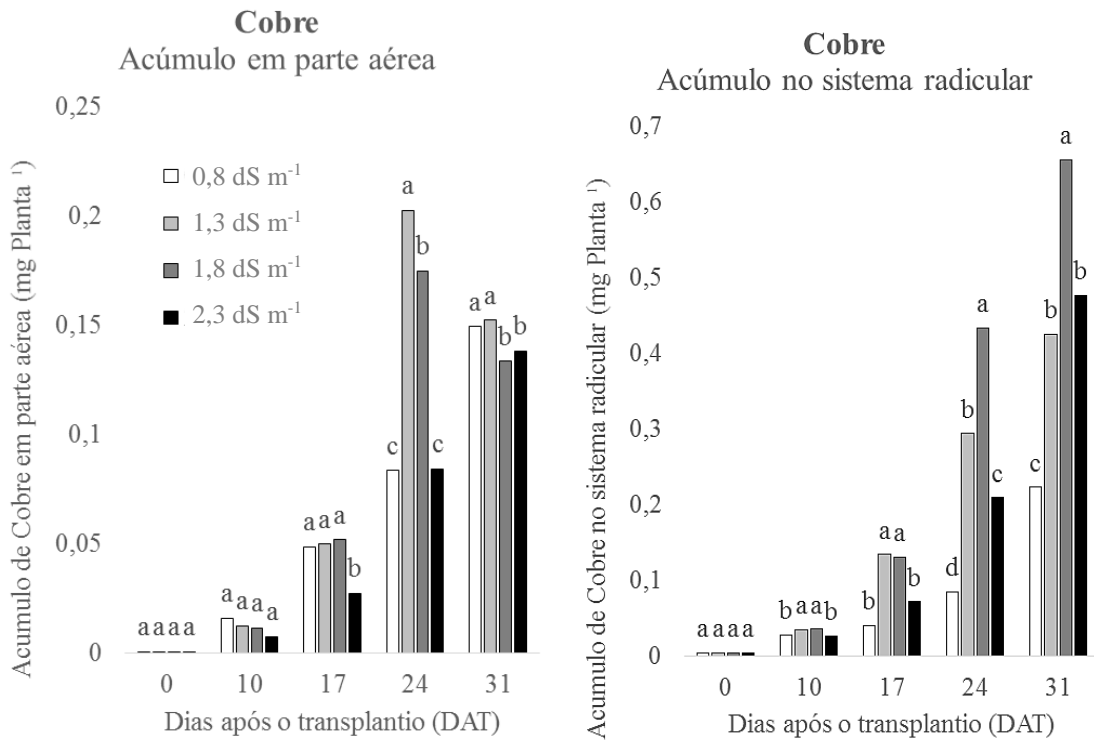
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 10 – Acúmulo de boro nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



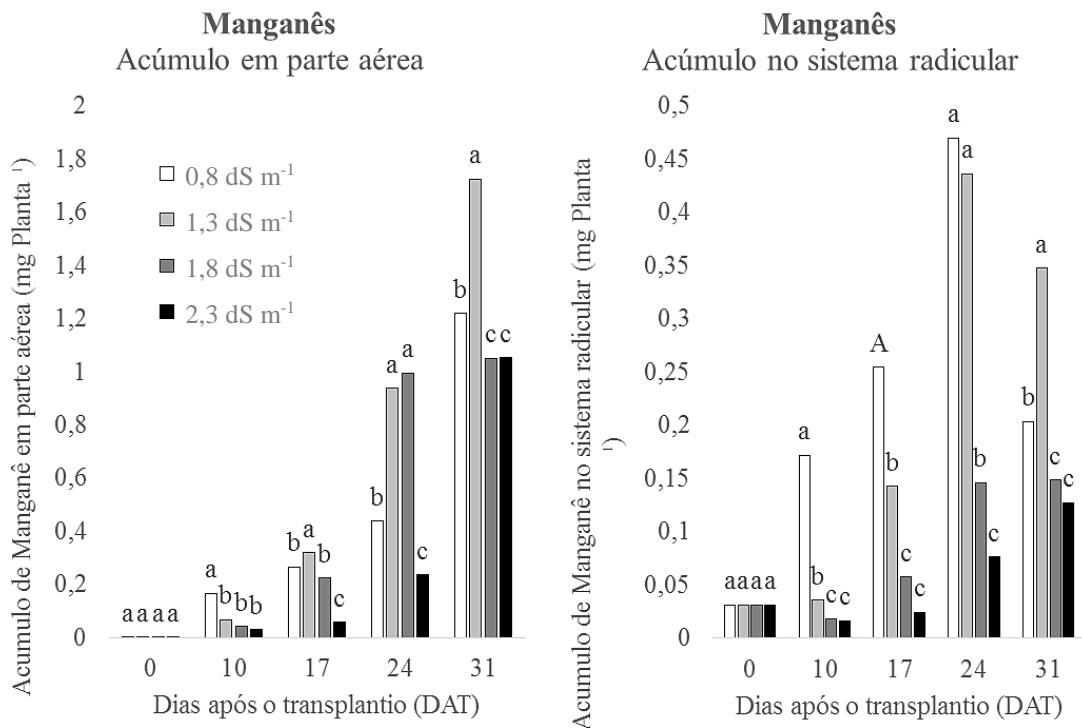
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 11 – Acúmulo de cobre nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



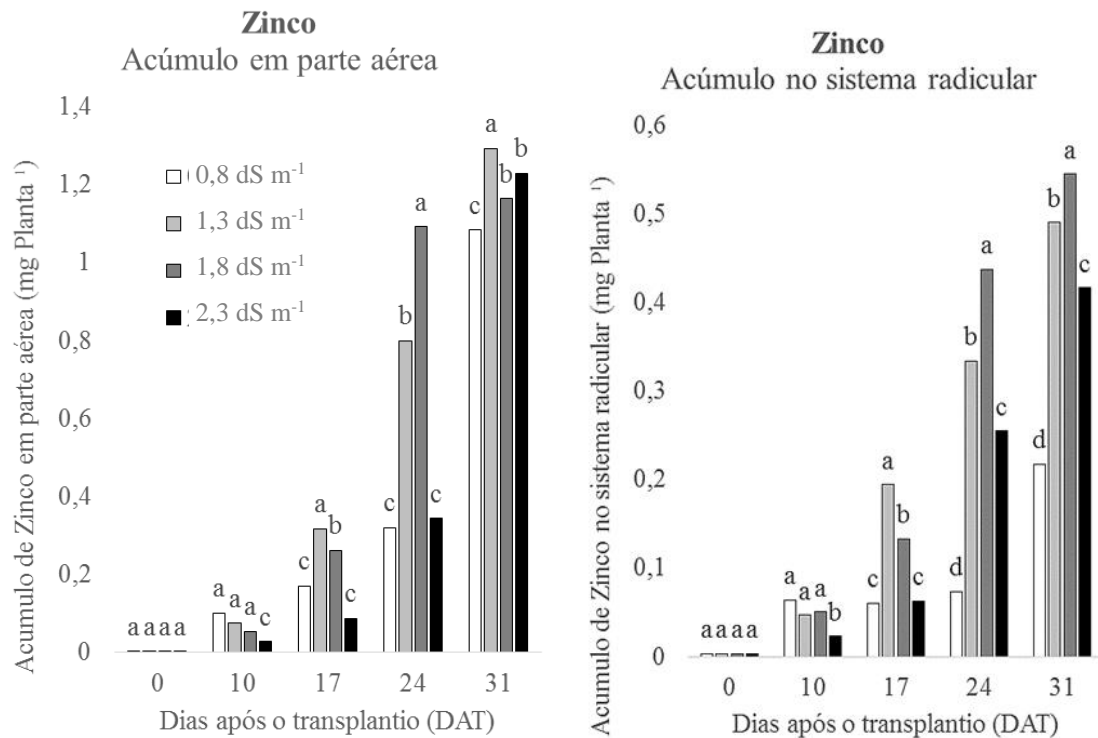
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 12 – Acúmulo de manganês nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 13 – Acúmulo de zinco nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

O comportamento apresentado pelo nitrogênio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês e zinco são parcialmente coerentes com sua forma predominante de contato íon/raiz, para absorção pela planta, o fluxo de massa (MALAVOLTA, 1980), apresentando melhores resultados com gradiente de condutividade, semelhantemente na parte aérea e no sistema radicular.

A demanda de água pela planta, juntamente com necessidade de uma solução nutritiva com diferentes concentrações de nutrientes para cada período, determinou a ordem dos tratamentos com melhor desempenho para cada momento, permitindo aceitar que para esses nutrientes, a condutividade deve avançar dos 0,8 dS m⁻¹ até os 10 DAT, para 1,3 dS m⁻¹ dos 10 aos 17 DAT e para 1,8 dS m⁻¹ dos 17 aos 24 DAT, retornando à 1,3 dS m⁻¹ dos 24 aos 31 DAT, ao final do ciclo, semelhante ao comportamento observado no desempenho de produção de matéria fresca e seca da alface americana.

A absorção desses nutrientes pelo sistema radicular obedeceu uma relação próxima ao constatado nos acúmulos dos nutrientes em parte aérea, permitindo inferir que houve um equilíbrio entre absorção e translocação de nutriente.

O grupo de elementos essenciais absorvidos preferencialmente após contato íon/raiz por difusão (MALAVOLTA, 1980), composto por fósforo (Figura 14), potássio (Figura 15) e

ferro (Figura 16), manifestaram-se acompanhando o comportamento de produção de fitomassa aérea, enquanto o acúmulo no sistema radicular, que foi submetido às diferentes pressões osmóticas da solução, o conteúdo dos nutrientes cresceram a medida que se elevou a concentração da solução nutritiva, e conseqüente, a condutividade elétrica.

Em experimento com alface BR 303 em Viçosa-MG, incrementando a condutividade elétrica da solução nutritiva de 0,5 a 4 dS m⁻¹, foi constatado comportamento semelhante ao obtido neste experimento quanto ao acúmulo de nitrogênio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês e zinco na alface (GONDIM, 2010).

O acúmulo de nitrogênio, segundo Godim (2010) apresentou redução à medida que se aproximou de 2 dS m⁻¹, mantendo-se em maiores valores com condutividade da solução em menores índices. Em contrapartida, Cometti (2003) não evidenciou alteração no acúmulo de N com diferentes condutividades elétricas, porém verificou comportamento de redistribuição do elemento na planta.

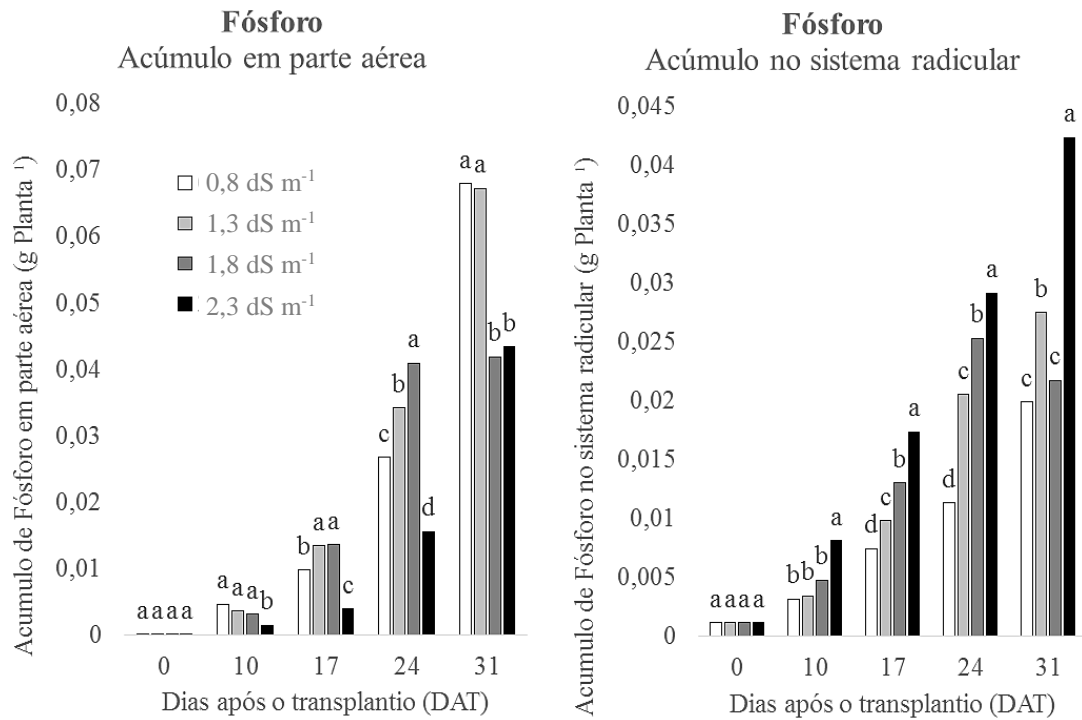
O acúmulo de magnésio também apresentou incremento até 1,3 dSm⁻¹, decrescendo a medida que se aproximou de 2,3 dS m⁻¹. Beninni (2005) em cultivo hidropônico de alface cv. Veronica, à condutividade de 1,8 a 2 dS m⁻¹ obteve teores 0,074 g planta⁻¹ de Mg aos 35 DAE, sendo 0,071 g planta⁻¹ em parte aérea. Para a cv. BR 303, o maior acúmulo de Mg foi encontrado com fornecimento de solução nutritiva a condutividade de 1 dS m⁻¹.

Os valores de Mg foram reduzidos, provavelmente, pelo aumento de K, o que pode ter inibido competitivamente, a sua absorção, mas não chegando a apresentar sintomas visíveis de deficiência (Silva, 2006), caracterizando uma deficiência moderada de Mg (fome oculta).

De maneira semelhante, o acúmulo de enxofre teve incremento até a condutividade elétrica de 1,3 dS m⁻¹, decrescendo após esse valor. Comportamentos semelhantes foram encontrados por Gondim (2010) no sistema radicular e caule de alface BR 303.

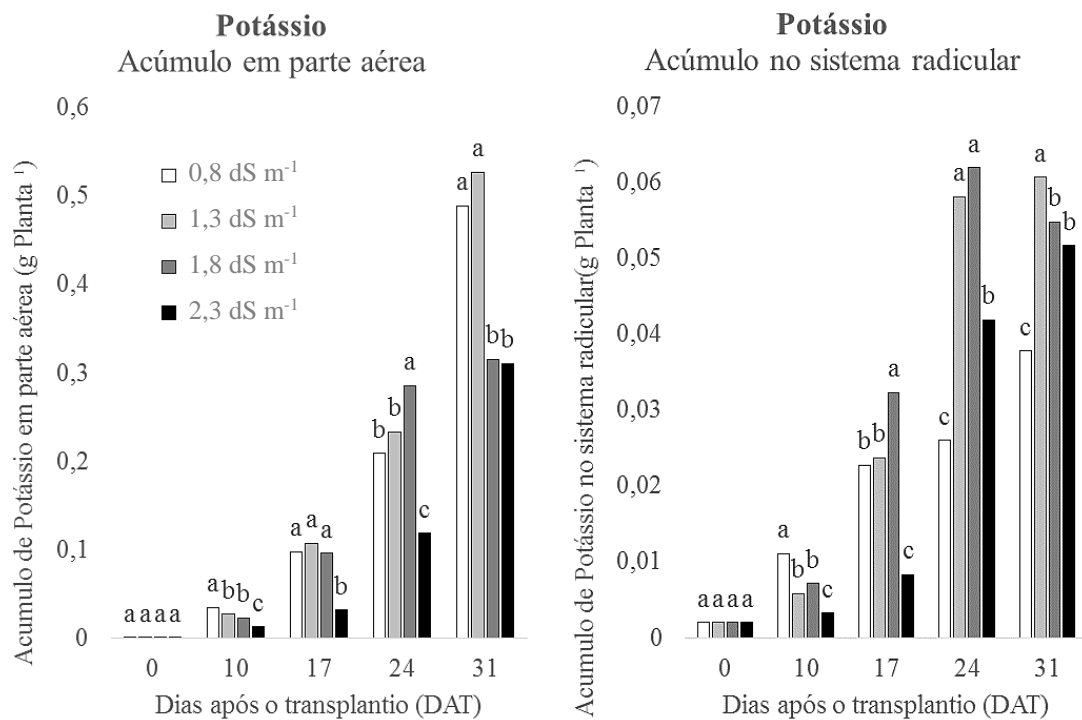
Os micronutrientes catiônicos cobre, manganês e zinco mantiveram seu maior acúmulo em condutividade de 1,3 dS m⁻¹, decrescendo até atingir condutividade de 2,3 dS m⁻¹. Sua disponibilidade pode ter sido ainda comprometida a medida que maiores condutividades elevaram drasticamente o teor de P, causando precipitações junto aos fosfatos.

Figura 14 – Acúmulo de fósforo nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



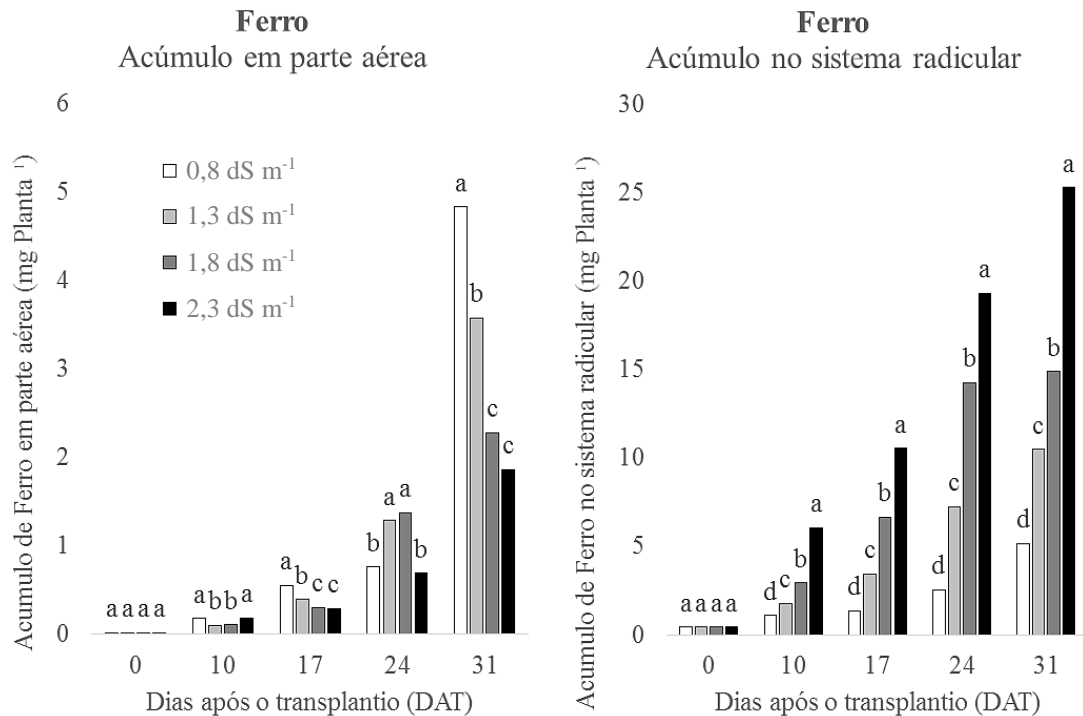
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 15 – Acúmulo de potássio nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 16 – Acúmulo de ferro nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A diferença de comportamento entre o conteúdo desse grupo de nutrientes supracitado, em parte aérea e sistema radicular, permite assumir que a maior pressão osmótica propiciou a absorção, porém, por ser excessivo, não foi translocado à parte aérea integralmente.

O acúmulo desses nutrientes no sistema radicular de maneira linear crescente permite afirmar que os elementos foram absorvidos de maneira proporcional ao fornecimento, contudo, suas translocações para parte aérea não seguiram a mesma regra, apresentando comportamento em parábola, atingindo maiores valores a 1,3 dS m⁻¹.

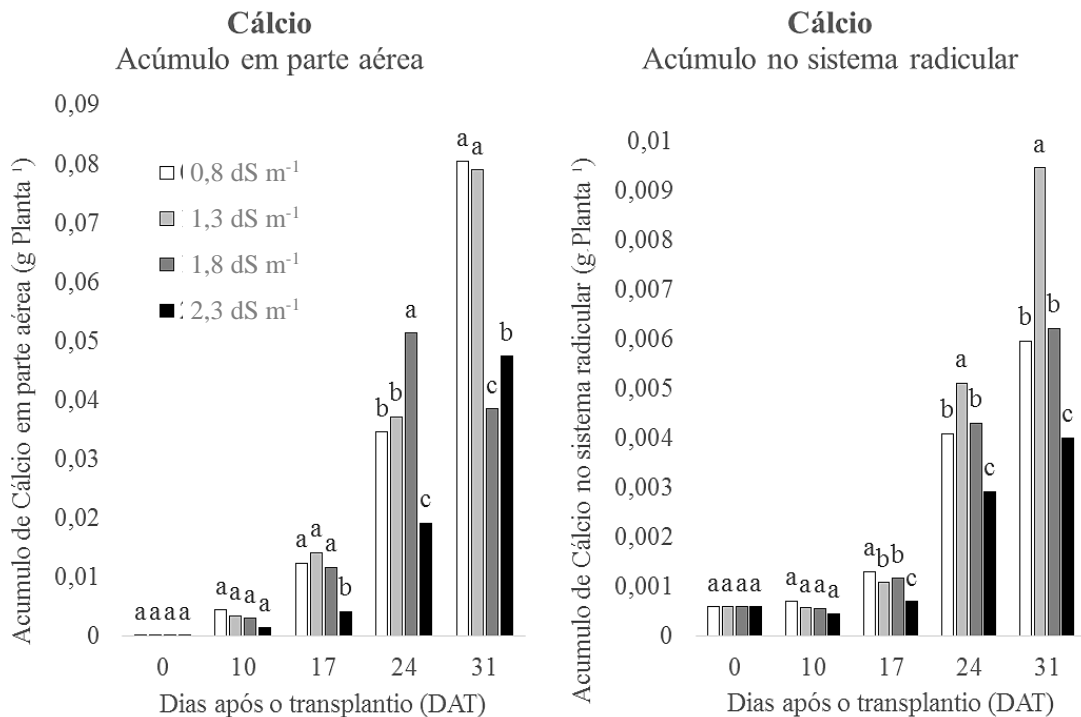
Gondim et al. (2005) também encontraram comportamento quadrático para fósforo, semelhante a Cometti et al. (2008), estudando níveis de força iônica, para a cv. Verônica, ambos resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

O acúmulo de potássio, também apresentou comportamento quadrático em parte aérea e linear crescente no sistema radicular, apresentando valores semelhantes aos obtidos por em alface BR 303 (GONDIM et al., 2005).

O ferro, apresentou comportamento semelhante ao fósforo e potássio, dada sua concentração na solução e sua capacidade de acúmulo no apoplasto do sistema radicular, permitindo valores crescentes de acúmulo nesses órgãos frente a crescente disponibilidade.

Os valores obtidos para o acúmulo de cálcio em parte aérea tenderam a apresentar melhores resultados, de maneira geral em condutividades de 0,8 à 1,3 dS m⁻¹, resultado este também constatado, no sistema radicular da alface (Figura 17).

Figura 17 – Acúmulo de cálcio nos tecidos de parte aérea e raízes de alface sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Para absorção do cálcio é necessário que a superfície radicular entre em contato com o íon, preferencialmente da zona de crescimento radicular, que possui maior eficiência de absorção, por ser um tecido mais jovem (TAIZ; ZEIGER, 2004). Na condição do presente experimento, foi observado grande desfavorecimento no desenvolvimento de raízes a medida que a condutividade elétrica da solução nutritiva foi aumentada (Figuras 4 e 18), prejudicando de maneira indireta a absorção deste macronutriente secundário.

O fornecimento inadequado de Ca é caracterizado pelo surgimento de necrose nas extremidades das folhas em desenvolvimento, dada a função do cálcio na manutenção da integridade da parede celular (MALAVOLTA, 1980). Sua deficiência pode ser provocada não somente pela baixa funcionalidade do sistema radicular, mas também pela alta salinidade do meio segundo Collier & Tibbitts (1982) citado por Bennini (2003), a qual favorece a maior absorção de K, que tem efeito antagônico por inibição competitiva em relação ao Ca.

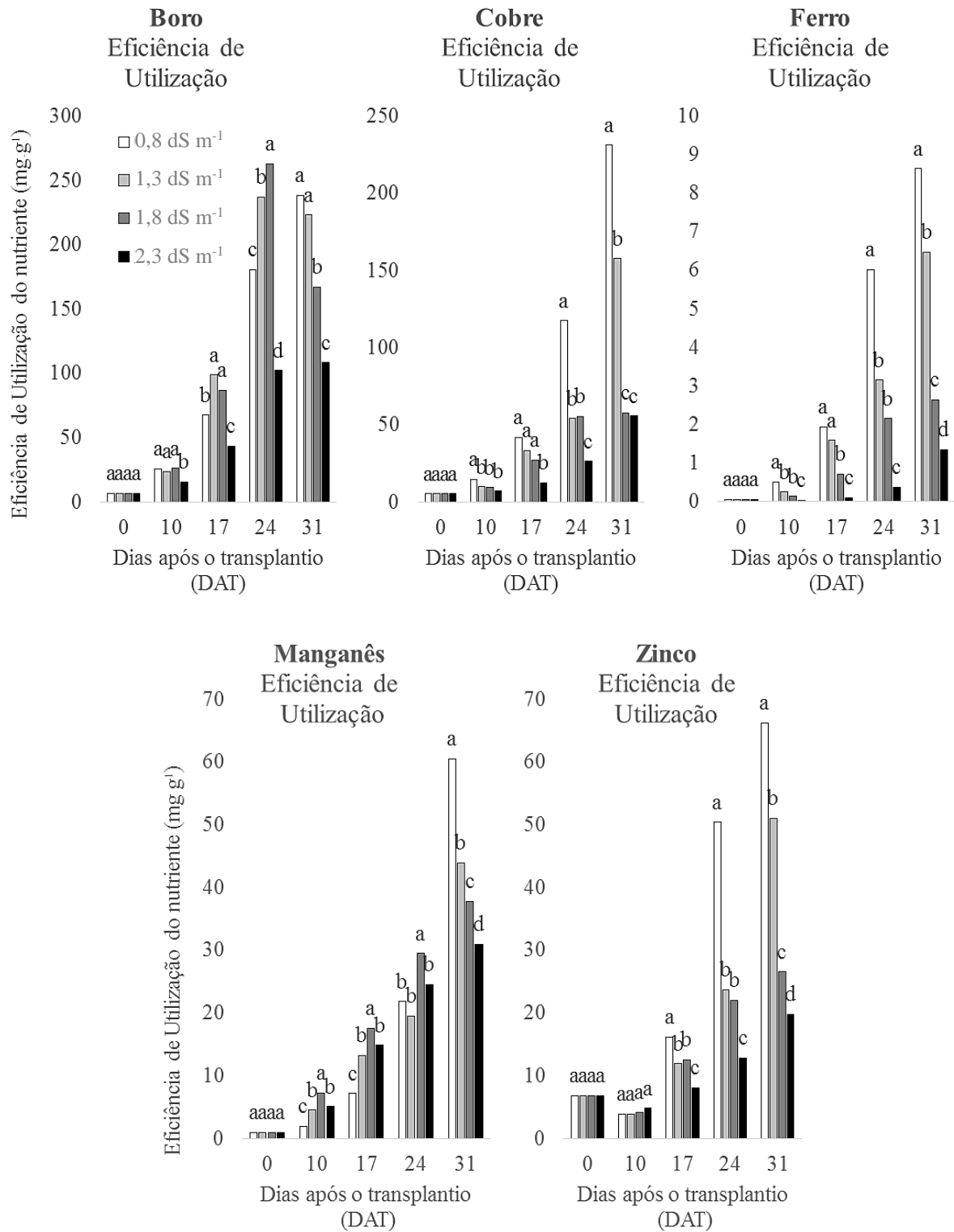
Figura 18 – Desenvolvimento de alface americana ao 10, 17 e 24 DAT, sob diferentes valores de condutividade elétrica da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Elaboração do próprio autor

A eficiência de utilização dos macronutrientes primários, nitrogênio, fósforo e potássio (Figura 19), dos macronutrientes secundários, cálcio, magnésio e enxofre (Figura 20) e dos micronutrientes (Figura 21), apresentaram comportamento similar, acompanhando um gradiente de eficiência em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. Comportamento semelhante ao obtido na produção de matéria fresca e seca. A exceção se deu apenas para o cobre e o ferro que mantiveram sua maior eficiência de utilização na condutividade elétrica mais baixa.

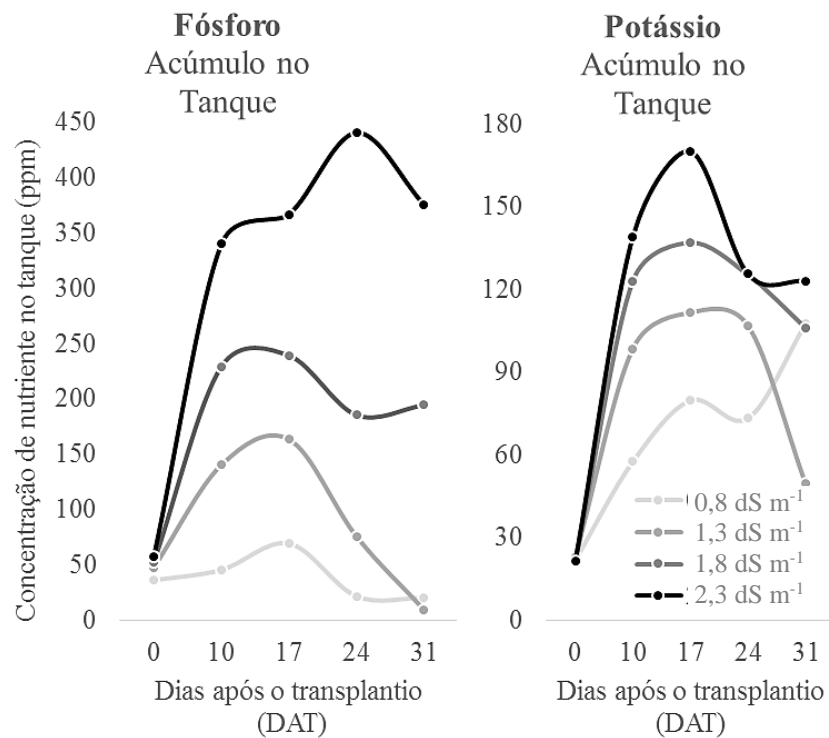
Figura 21 – Eficiência de utilização de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) pela cultura da alface americana sob diferentes condutividades elétricas em soluções nutritivas. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

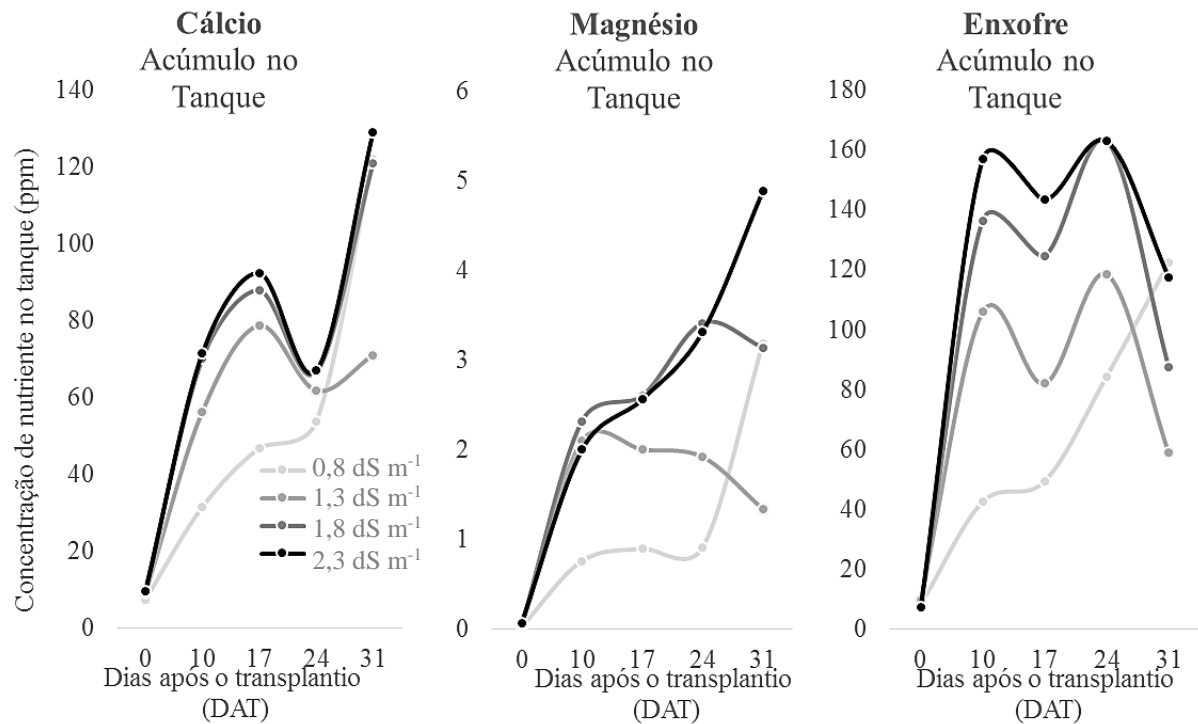
A solução nutritiva estoque, contida em cada caixa individualizada por tratamentos, também apresentou variações no decorrer do período de cultivo nas concentrações de macronutrientes primários (Figura 22), secundários (Figura 23) e micronutrientes (Figura 24).

Figura 22 – Concentração de macronutrientes primários (Fósforo e Potássio) no tanque de armazenamento de solução nutritiva sob diferentes condutividades elétricas na cultura da alface americana. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



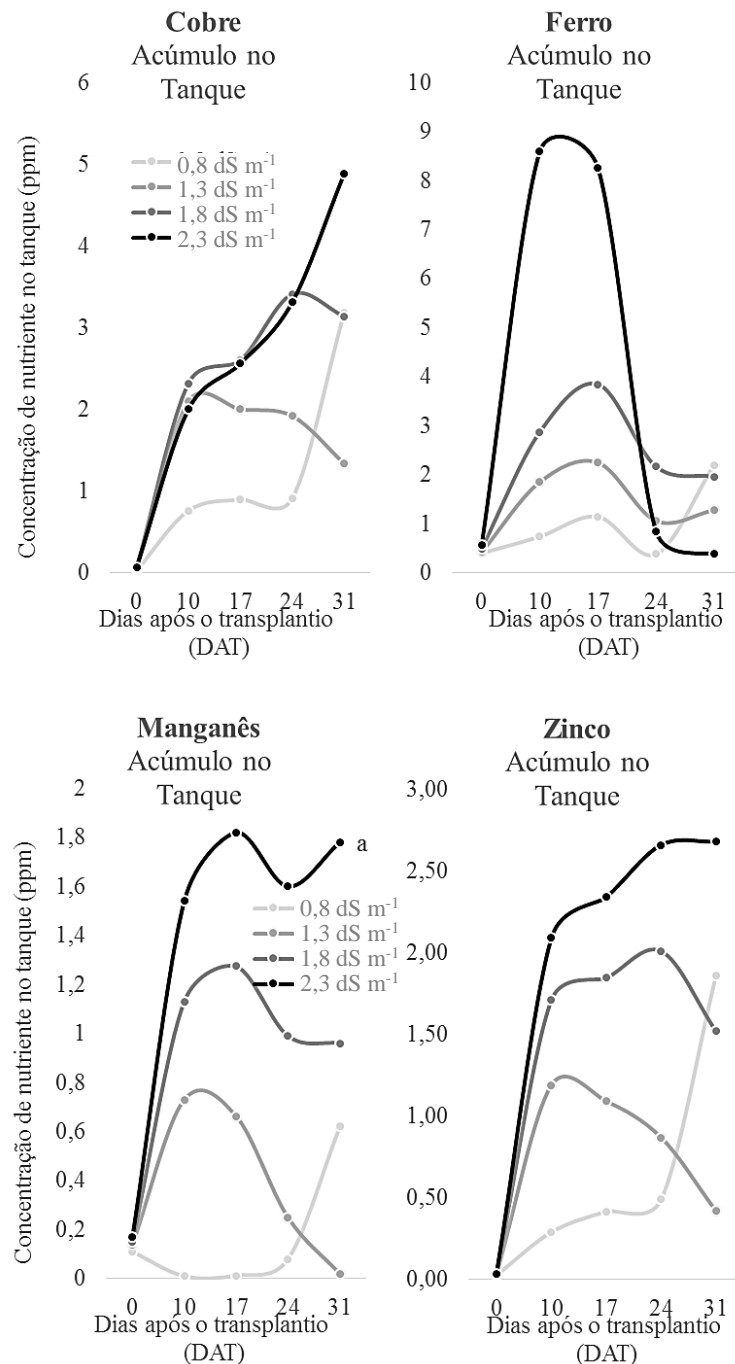
Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 23 – Concentração de macronutrientes secundários (Cálcio, Magnésio e Enxofre) no tanque de armazenamento de solução nutritiva sob diferentes condutividades elétricas na cultura da alface americana. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

Figura 24 – Concentração de micronutrientes catiônicos (Cobre, Ferro, Manganês e Zinco) no tanque de armazenamento de solução nutritiva sob diferentes condutividades elétricas na condução da cultura da alface americana. Aparecida do Taboado, MS, 2017.



Fonte: Dados da pesquisa do autor

A concentração de fósforo e potássio no tanque estoque (Figura 22) aumentaram à medida que condutividade elétrica da solução nutritiva foi elevada. Contudo, apresentou comportamento de consumo proporcional aos diferentes ganhos de massas fresca e seca

obtidos pelos tratamentos, indicando possíveis déficit nas concentrações mais baixas, principalmente ao final do ciclo, onde a planta apresentou seu maior acúmulo dos nutrientes.

A concentração de cálcio e magnésio (Figura 23), apresentaram comportamento de acúmulo, principalmente nos tratamentos com maior concentração, indicando excesso dos nutrientes. A faixa adequada para esses nutrientes, nas condições estudadas, sugere condutividades entre 0,8 e 1,3 dS m⁻¹ para o melhor aproveitamento destes nutrientes. A concentração de enxofre (Figura 23) apresentou comportamento de consumo proporcional a condutividade elétrica, semelhante ao fósforo e potássio.

Dos micronutrientes (Figura 24), o cobre apresentou maior concentração em função da elevação da condutividade elétrica, enquanto o manganês, ferro e zinco apresentaram consumo proporcional aos diferentes ganhos de massa seca da planta, sob diferentes condutividades da solução nutritiva.

Economicamente, a maior lucratividade foi obtida com uso da condutividade da solução nutritiva em 1,8 dS m⁻¹ (Tabela 3), isto se explica pela maior produção de massa fresca e seca de alface americana constatada neste tratamento. O resultado menos satisfatório sob 2,3 dS m⁻¹, onde verificou-se maior custo de produção que a receita obtida, ocasionado prejuízo financeiro, se aplicado em ambiente de produção. As condutividades de 0,8 e 1,3 dS m⁻¹ propiciaram lucratividade intermediária, com relação benefício-custo de 183 e 174%, respectivamente.

Tabela 2 – Custo de produção, receita bruta e receita líquida por planta de alface hidropônica sob diferentes condutividades elétricas da solução nutritiva. Aparecida do Taboado, MS, 2017.

	0,8 dS m ⁻¹		1,3 dS m ⁻¹		1,8 dS m ⁻¹		2,3 dS m ⁻¹	
	R\$	%	R\$	%	R\$	%	R\$	%
Custo de produção (A)								
Mão-de-Obra ²	0,26	32%	0,26	30%	0,26	30%	0,26	30%
Energia elétrica ³	0,26	32%	0,26	30%	0,26	30%	0,26	30%
Adubo ⁴	0,06	7%	0,10	12%	0,12	14%	0,12	14%
Água ⁵	0,03	4%	0,03	3%	0,03	3%	0,03	3%
Mudas ⁶	0,07	9%	0,07	8%	0,07	8%	0,07	8%
Defensivos ⁷	0,04	5%	0,04	5%	0,04	5%	0,04	5%
Custo fixo da instalação ⁸	0,10	12%	0,10	12%	0,10	11%	0,10	11%
Subtotal	0,82		0,86		0,88		0,88	
B - Receita Bruta								
Nº de plantas por Maço ⁹	2	50%	2	50%	1	100%	4	25%
Subtotal	1,50		1,50		3,00		0,75	
Receita Líquida (A – B)								
	0,68		0,64		2,12		-0,13	
Benefício-custo	183%		174%		341%		85%	

¹Diferentes condutividades da solução nutritiva submetidas a um duto de PVC retangular, com vazão de 1 litro por minuto, sete metros de comprimento e inclinação de 10%; ²Custo de mão-de-obra total do estabelecimento durante o ciclo de produção, individualizado por planta; ³Custo de energia elétrica considerado a crescente capacidade de bombeamento a medida que as vazões decrescem); ⁴Custo da solução nutritiva consumida no ciclo de produção; ⁵Custo de água consumida durante o ciclo de produção; ⁶Custo total da muda de alface em espuma fenólica incluindo a condução em berçário; ⁷Custo de aplicação de Difenconazol e Casugamicina; ⁸Custo atribuído a locação de uma casa de vegetação equipada para hidroponia; ⁹Quantidade de plantas necessárias para a composição de um maço comercial ao valor de mercado atacado de R\$2,50.

4.4 CONCLUSÕES

A condutividade elétrica da solução nutritiva altera a absorção e quantidade acumulada de nutrientes, produção de massa fresca e seca da alface americana, e conseqüentemente a lucratividade com a cultura.

Devido ao maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e raízes, bem como pela maior eficiência de utilização de nutrientes, a maior produção de massa fresca e seca de alface americana e as maiores lucratividades foram obtidas com a utilização de solução nutritiva com $1,80 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica.

A condutividade elétrica da solução nutritiva altera o teor de água na planta, sendo prejudicial para o desenvolvimento da alface americana sob valores acima de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$.

O acompanhamento da condutividade elétrica dos tratamentos no decorrer do ciclo de cultivo da alface aponta para uma produção mais satisfatória com o uso da condutividade elétrica recomendada em cada estágio de cultivo da alface, com valores: $0,8 \text{ dS m}^{-1}$ até os 10 DAT; $1,30 \text{ dS m}^{-1}$ dos 10 aos 17 DAT; $1,80 \text{ dS m}^{-1}$ dos 17 aos 24 DAT e $1,30 \text{ dS m}^{-1}$ dos 24 aos 31 DAT.

REFERÊNCIAS

- BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2005. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744077001>>. Acesso em: 26 out. 2017.
- CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo: hidroponia**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 1995. 43 p.
- CASTELLANE, P. D.; CRUZ, M. C. P. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: Potafos, 1993. V.1, p. 141-148, 1993.
- COCK, W. R. S.; TARDIN, F. D.; AMARAL JÚNIOR, A. T'; SCAPIM, C. A.; AMARAL, J. F. T.; CUNHA, G. M.; BRESSAN-SMITH, R. E.; PINTO, R. J. B. Seleção de genótipos de alface eficientes na absorção do fósforo. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 59-64, 2003.
- COMETTI, N. N.; MATIAS, G. C. S.; ZONTA, E.; MARY, W.; FERNANDES, M.S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico–sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 2, p. 252-257, 2008.
- COMETTI, N. N. **Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultura hidropônica - sistema NFT**. 2003. 93 f. Tese (Doutorado) – Instituto Agrônomo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- FAQUIN, V.; FURLANI NETO, A. E.; VILELA, L. A. A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1996. 50 p.
- FLOWER, T. J.; YEO, A. R. Ion relations of plants under drought and salinity. **Australian Journal of Plant Physiology**, Clayton, v. 113, n. 1, p. 75-79, 1986.
- FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo. 1997. 30 p. (Boletim técnico, 168).
- GONDIM, A. R O.; PEREIRA-FLORES, M. E.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G. Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. **Bioscience Journal**, Darmstadt, v. 26, n. 6, p.894-904, 2010
- HUETT, D. O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Australian Journal of Agricultural Research**, Clayton, v. 45, n. 1, p. 251-267, 1994.
- KNIGHT, S. L.; MITCHELL, C. A. Stimulation of lettuce productivity by manipulation of diurnal temperature and light. **HortScience**, Alexandria, v. 18, n. 4, p. 462- 463,1983.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MATSUNAGA, M. B.; TOLEDO, P.F. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.
- MARTINEZ, H. E. P.; SILVA FILHO, J. B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2006. 111 p.
- McCREE, K. J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 353- 360, 1989.
- PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal: Funep, 2016. 600 p.
- PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. 1991. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M.. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SILVA, D.F.P.; SILVA, M.R.B.; SILVA, R.T.B.; MAPELI, A.M.; KHOURI, C.R.; LISBOA, S.P.; SOUZA, V.A.; PEREIRA, P.R.G. Produção de mini-alface em cultivo hidropônico. **Unimontes Científica**, Montes Claros, v. 8, n. 1, p. 65-76, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TRANI, P.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 157-164. (Boletim técnico, 100).
- VIANA, S. B. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; CARNEIRO, P. T. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 23-30, 2004.